



# ПРОЕКТ ГАММА-400

*Топчиев Николай Петрович  
от имени коллаборации ГАММА-400*

А.М. Гальпер<sup>1,2</sup>, И.В. Архангельская<sup>2</sup>, М. Боецио<sup>3</sup>, В. Бонвичини<sup>3</sup>, А. Вакки<sup>3</sup>,  
В.Я. Геча<sup>4</sup>, Б.А. Долгошеин<sup>2</sup>, Н. Зампа<sup>3</sup>, В.Г. Зверев<sup>2</sup>, В.А. Каплин<sup>2</sup>,  
В.А. Качанов<sup>5</sup>, А.Л. Меньшенин<sup>4</sup>, П.Ю. Наумов<sup>2</sup>, П. Пикоцца<sup>6</sup>,  
О.Ф. Прилуцкий<sup>7</sup>, В.Г. Родин<sup>7</sup>, М.Ф. Рунцо<sup>2</sup>, П. Спиллантини<sup>8</sup>, С.И. Сучков<sup>1</sup>,  
Н.П. Топчиев<sup>1</sup>, М.О. Фарбер<sup>2</sup>, М.И. Фрадкин<sup>1</sup>, Ю.Т. Юркин<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН – головная организация по разработке научной аппаратуры)
- <sup>2</sup> Научно-исследовательский ядерный университет «МИФИ»
- <sup>3</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Trieste, Italy
- <sup>4</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт электромеханики (ВНИИЭМ)
- <sup>5</sup> Институт физики высоких энергий (ИФВЭ), Протвино
- <sup>6</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Roma 2, and Physics Department of University of Rome “Tor Vergata”, Rome, Italy
- <sup>7</sup> Институт космических исследований РАН (ИКИ)
- <sup>8</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Firenze, and Physics Department of University of Florence, Florence, Italy

# 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.*

*Space Science Reviews* **49** (1988) 215–226.

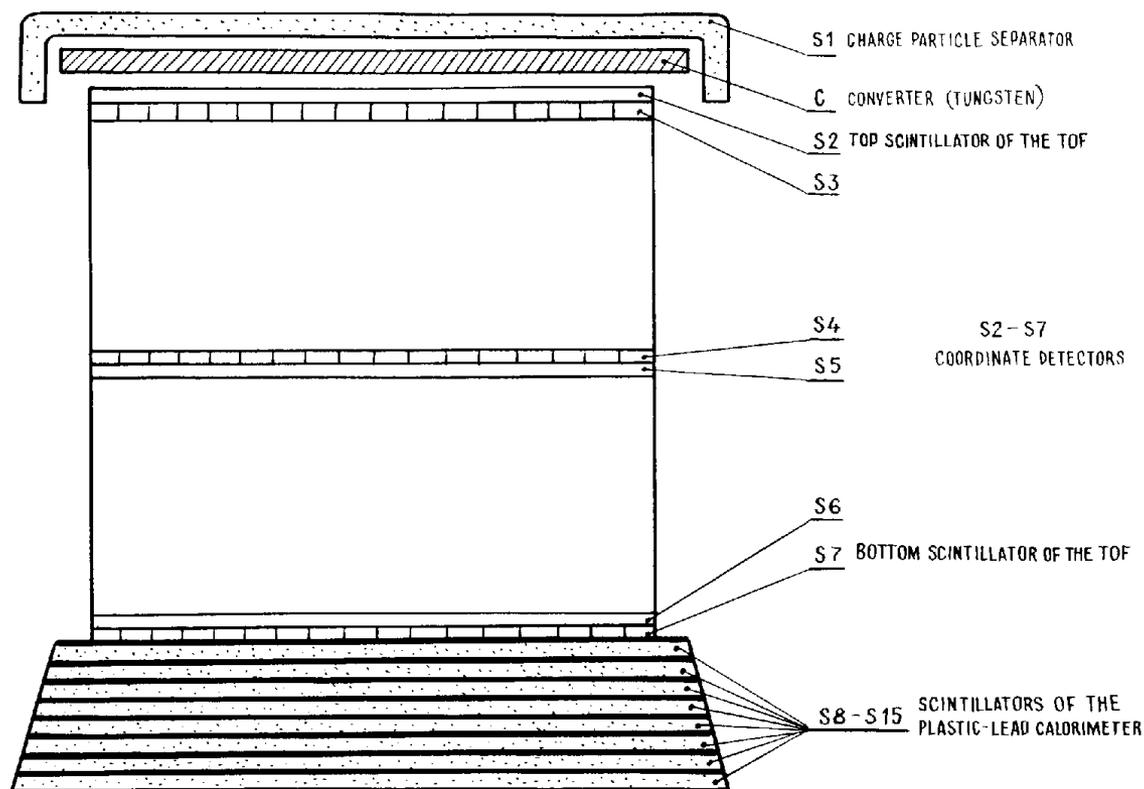


Fig. 5. Scheme of the detecting block of GAMMA-400.

Одна из первых статей по  
ГАММА-400,  
появившаяся до запуска  
ГАММА-1 и EGRET.

Площадь – 1 м<sup>2</sup>  
Пролетная база – 1 м  
Угловое разрешение – 2°  
Энергетическое  
разрешение – 20%  
Калориметр – 22 р.е.д.

# ГАММА-1

Период работы: 1990-1992 гг.

Диапазон энергий: 50 МэВ-5 ГэВ

Характеристики:

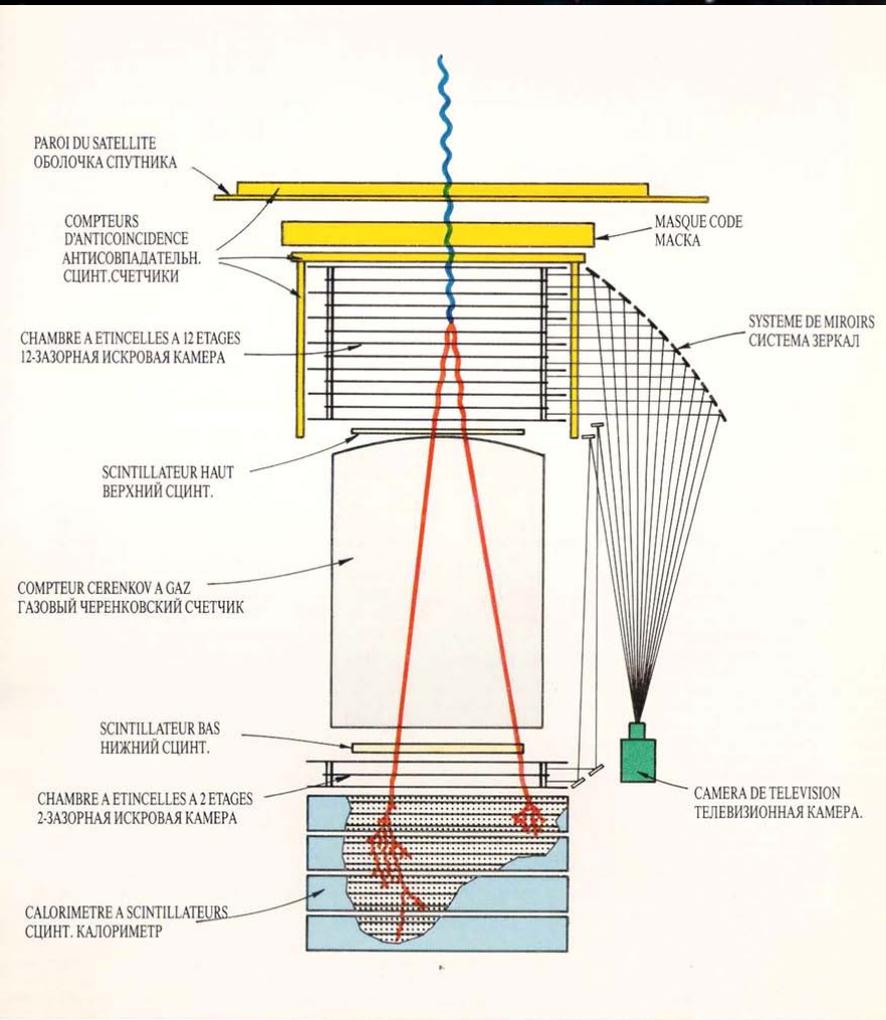
$S_{эфф} = 1400 \text{ см}^2$ ,  $\Delta\theta = 1,2^\circ$  (300 МэВ),

$\Delta E/E = 35\%$  (500 МэВ),

широкозахватные искровые камеры,  
газовый черенковский счетчик,  
сцин.-свинц. калориметр – 7.4 р.е.д.

Научные результаты:

зарегистрировано гамма-излучение от центра Галактики, многих галактических объектов (Geminga, Crab, Hercules-X1, Cygnus-X3, Vela). В 1991 г. в период максимума солнечной активности ГАММА-1 впервые зарегистрировал вспышки высокоэнергетичного (до нескольких ГэВ) гамма-излучения от Солнца.



# EGRET (CGRO) (США)

Период работы: 1991-2000 гг.

Диапазон энергий: 30 МэВ - 30 ГэВ

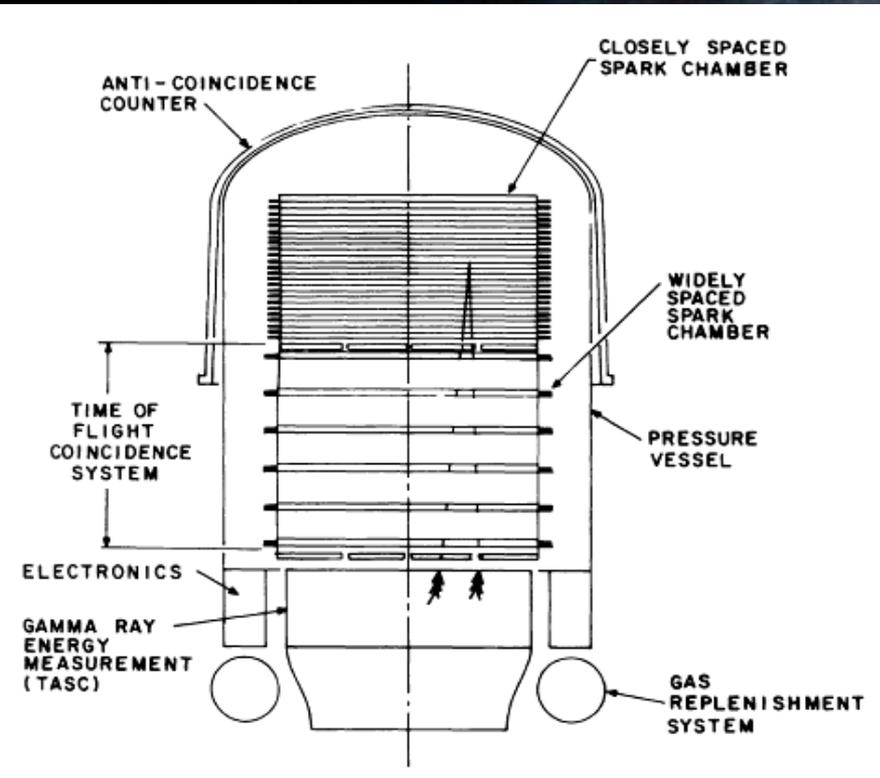
Характеристики:

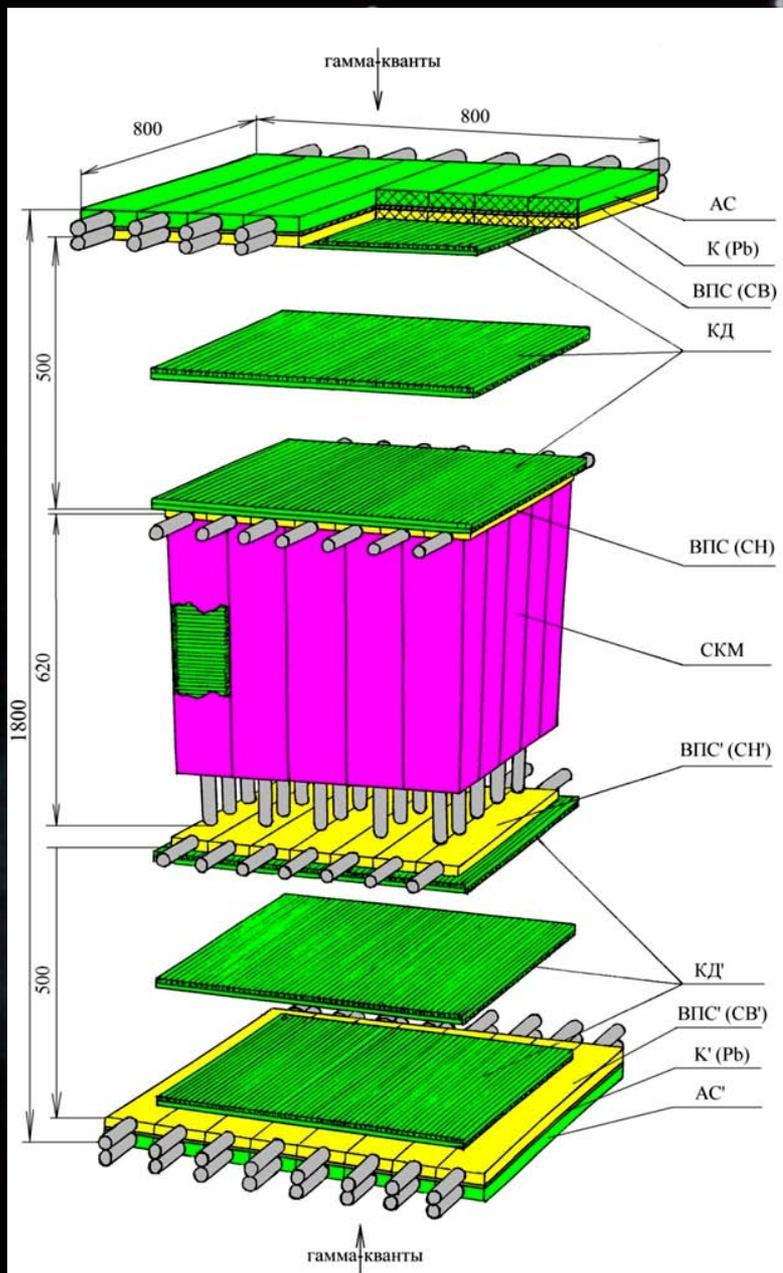
$S_{\text{эфф}} = 6000 \text{ см}^2$ ,  $\Delta\vartheta = 0,2^\circ$  (300 МэВ),  
 $\Delta E/E = 15\%$  (500 МэВ),

узко- и широкозорные искровые камеры,  
NaI(Tl) калориметр – 8 р.е.д.

Научные результаты:

исследовано высокоэнергичное гамма-излучение от 7 пульсаров, получена детальная карта галактического диффузного гамма-излучения, измерено внегалактическое диффузное гамма-излучение.





## РОССИЙСКИЙ ВАРИАНТ ТЕЛЕСКОПА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ДИФУЗНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 10–1000 ГэВ

© 2005 г. В. Л. Гинзбург<sup>1</sup>, В. А. Каплин<sup>2</sup>, А. И. Каракаш<sup>2</sup>, Л. В. Курносова<sup>1</sup>,  
М. Ф. Рунцо<sup>2</sup>, А. П. Солдатов<sup>3</sup>, Н. П. Топчиев<sup>1</sup>, М. И. Фрадкин<sup>1</sup>,  
С. К. Черниченко<sup>3</sup>, И. В. Шейн<sup>3</sup>

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2005, том 69, № 3, с. 428–430

Чувствительная площадь	- 3025 см <sup>2</sup>
Угловое разрешение ( $E_\gamma = 1$ ТэВ)	- 1-2°
Энергетическое разрешение ( $E_\gamma = 1$ ТэВ)	- 2%
Толщина калориметра	- 18 р.е.д.
Вес телескопа	- 1200 кг

Проект ГАММА-400 включен в Федеральную  
космическую программу РФ на 2006-2015 гг.

## Advanced GAMMA-400 $\gamma$ -Ray Telescope for Recording Cosmic $\gamma$ Rays with Energies up to 3 TeV

V. L. Ginzburg<sup>a</sup>, V. A. Kaplin<sup>b</sup>, M. Ph. Runtso<sup>b</sup>,  
N. P. Topchiev<sup>a</sup>, and M. I. Fradkin<sup>a</sup>

Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2009, Vol. 73, No. 5, pp. 664–666.

Чувствительная площадь	- 4400 см <sup>2</sup>
Угловое разрешение ( $E_\gamma = 1$ ТэВ)	- 1-2°
Энергетическое разрешение ( $E_\gamma = 1$ ТэВ)	- 2%
Толщина калориметра	- 20 р.е.д.
Вес телескопа	- 1700 кг

Параметры этого варианта ГАММА-400 легли в основу ЭП ОКР.

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Учреждения Российской академии наук

Физического института

им. П.Н. Лебедева РАН

академик



Месяц Г.А.

2009 г.

**ПРОЕКТ ГАММА-400**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ**  
**И ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В**  
**ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ 1-3000 ГэВ**

От ФИАН

Руководитель научного направления

академик

Гинзбург В.Л.

29/10 2009 г.

Научный руководитель проекта

ГАММА-400

профессор, г.н.с.

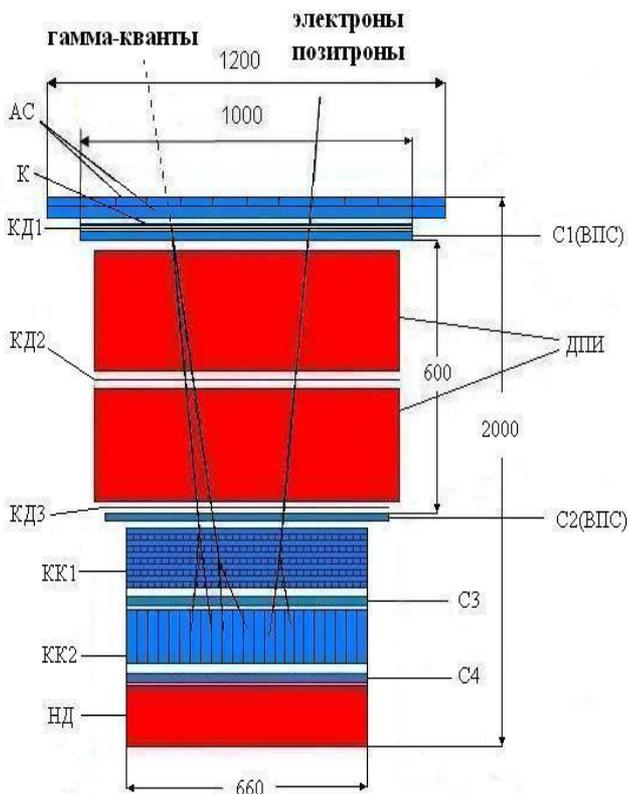
Гальпер А.М.

21 мая 2009 г.

Москва, 2009 г.

# Эскизный проект (2009-2010 гг.) в рамках ОКР ГАММА-400

ГАММА-400-ЭП



АС - антисовпадательные  
детекторы

К - конвертор из W

КД1-КД3 - стриповые коорд. детекторы

С1, С2 - сцинтилляторы ВПС

ДПИ - детекторы переходного излучения

КК1 - координатный калориметр (9 р.е.д.)  
10 слоев ВGO + стриповые  
коорд. детекторы

КК2 - координатный калориметр (11 р.е.д.)  
из кристаллов ВGO

С3, С4 - сцинтилляторы ДУ

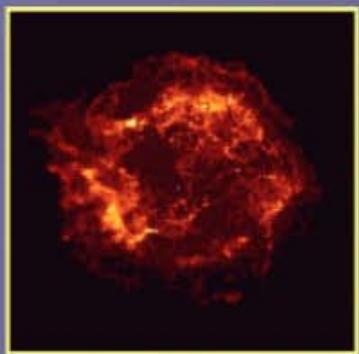
НД - нейтронный детектор

Диапазон энергий	30 – 1000 ГэВ
Угловое разрешение ( $E_\gamma = 100$ ГэВ)	0,2°
Энергетическое разрешение ( $E_\gamma = 10$ ГэВ)	~ 3%
Толщина калориметра	30 р.е.д.
Чувствительная площадь	0,44 м <sup>2</sup>
Вес	1700 кг
Энергопотребление	800 Вт
Объем передаваемой информации	500 Мб/сутки
Регистрируемые частиц	гамма- кванты, электроны, позитроны, протоны, ядра

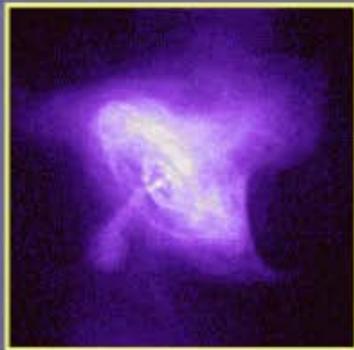
# Задачи высокоэнергичной гамма-астрономии

**Внеатмосферные наблюдения астрофизических объектов в гамма-диапазоне позволяют получить чрезвычайно важную информацию об основополагающих процессах, протекающих:**

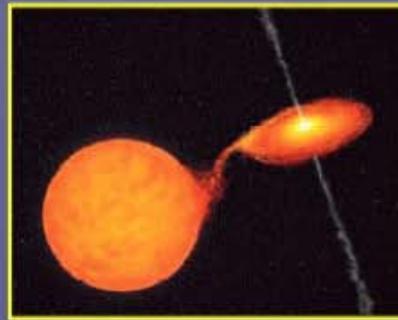
**в дискретных источниках (сверхновых, пульсарах, микроквазарах, галактиках с активными ядрами, блазарах и при гамма-всплесках)**



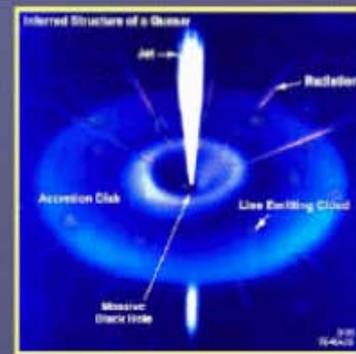
SNRs



Pulsars  
and PWNe



Micro quasars  
X-ray binaries



AGNs

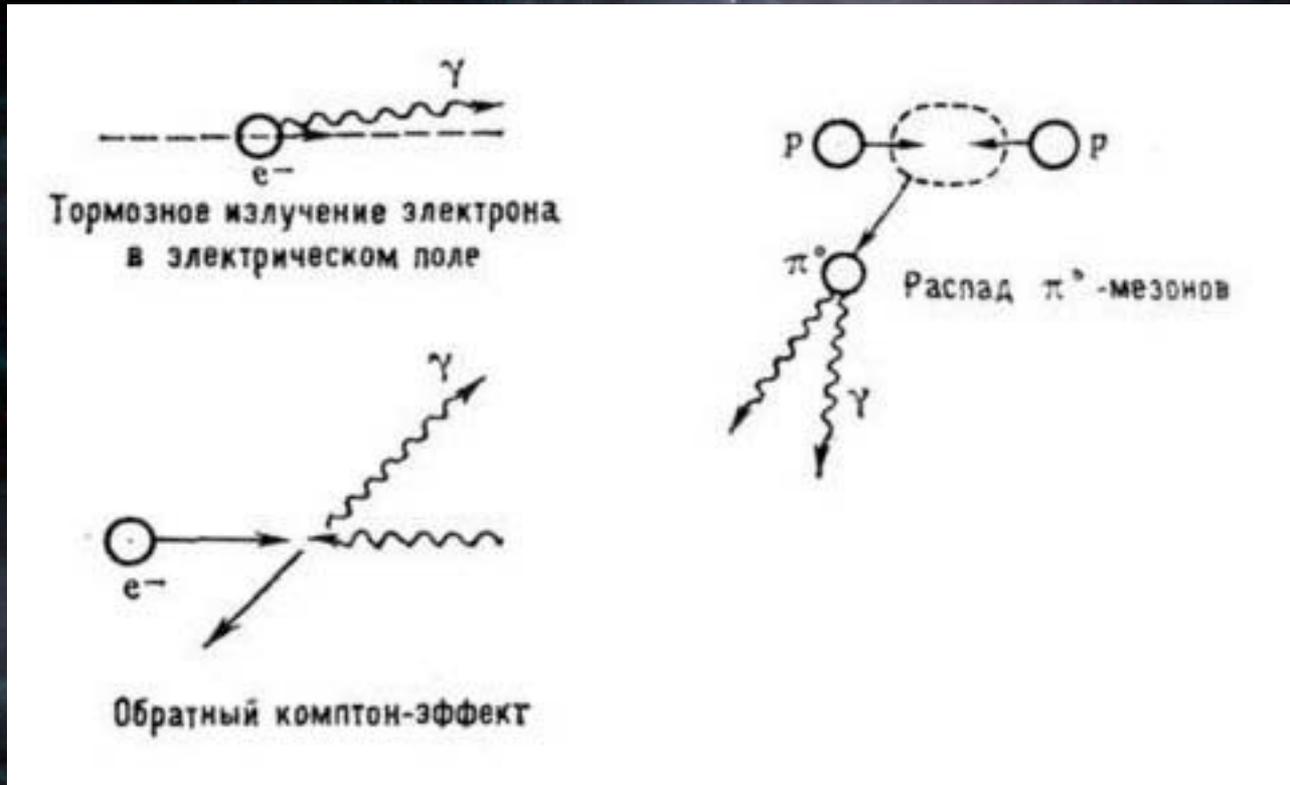


GRBs

Поиск новых и изучение известных галактических и внегалактических дискретных источников гамма-излучения сверхвысокой энергии. Отождествление дискретных гамма-источников с известными источниками излучения в других диапазонах электромагнитного излучения.

Мониторинг светимости и энергетического спектра гамма-источников сверхвысокой энергии для изучения природы их переменности.

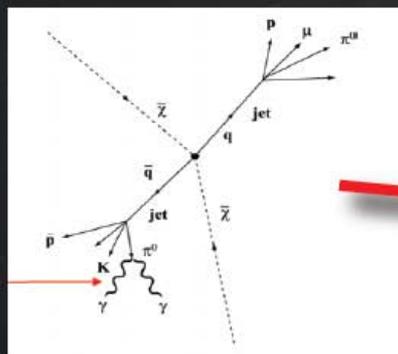
в межгалактическом и межзвездном пространстве  
(диффузное гамма-излучение).



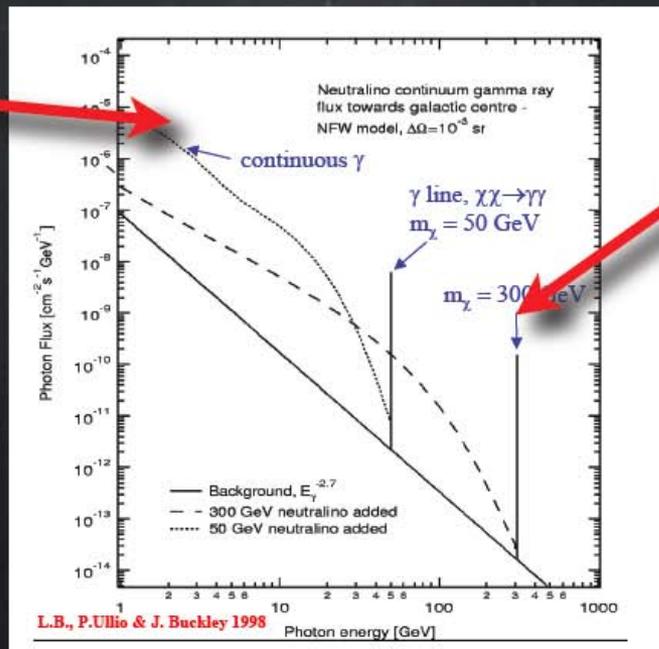
Измерение спектра галактического и внегалактического диффузного гамма-излучения. Поиск спектральных аномалий.

Изучение природы частиц темной материи по их аннигиляции и распаду, которые сопровождаются появлением гамма-квантов, электронов и позитронов высокой энергии.

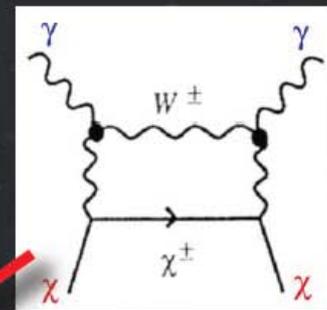
- In regions of the highest dark matter density, dark matter particles and their antiparticles are expected to **annihilate into gamma-rays**, either directly into a **gamma-ray line** (with energy equal to the mass of the dark matter particle times the speed of light squared  $E_\gamma = m_\chi c^2$ ) or a **broad spectrum of gamma-rays**.



(Bergstrom 2006)



L.B., P.Ullio & J. Buckley 1998



(Jungman and Kamionkowski, 1994)

# Fermi (GLAST) (США)

Single Photon Angular Resolution  
3.5° @ 100 MeV  
0.15° @ 10 GeV

Wide Energy Range: 20 MeV - >300 GeV

Wide Field of View (> 2 sr)

40 times EGRET's sensitivity and extends energy range to 300 GeV

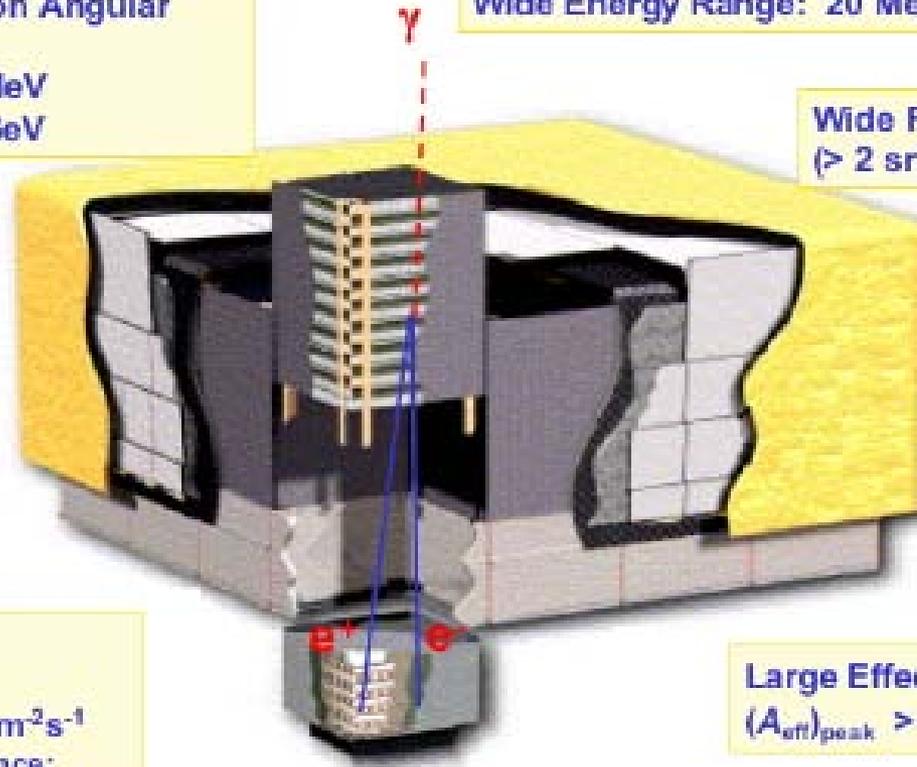
Low dead time: < 100 μs/event

Point Source Sensitivity:  
<  $6 \times 10^{-9}$  ph cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>  
(est. performance:  
<  $3 \times 10^{-9}$  ph cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)

Large Effective Area  
( $A_{\text{eff}}\text{)}_{\text{peak}} > 8,000$  cm<sup>2</sup>

Source Localization:  
0.3' - 1'

Good Energy Resolution  
 $\Delta E/E \sim 10\%$ ; 100 MeV - 10 GeV  
 $\sim < 20\%$ ; 10 GeV - 300 GeV



Период работы: с 2008 г. Характеристики:  $S \approx 18000$  см<sup>2</sup>, Вес = 3100 кг,  $t_{\text{к}}=8,5X_0$  (CsI(Tl)), трекер - Si-стрипы + вольфрам. Научные цели: поиск новых гамма-источников, гамма-линий от темной материи, исследование гамма-всплесков.

# AGILE (Италия)

Период работы – с 2007 г.



Диапазон энергий - 30 МэВ - 50 ГэВ

Угловое разрешение – 0,1°

Энергетическое разрешение – 50%

Толщина калориметра – 1,5 р.е.д.

Вес – 100 кг

# Количество обнаруженных дискретных гамма-источников

EGRET (100 МэВ – 20 ГэВ): 270 (170 неидентифицировано)

107 источников совпадают с FERMI

AGILE (100 МэВ – 50 ГэВ): 47 (26 неидентифицировано)

47 совпадают с FERMI

FERMI (100 МэВ – 100 ГэВ): 1451 (630 неидентифицировано)

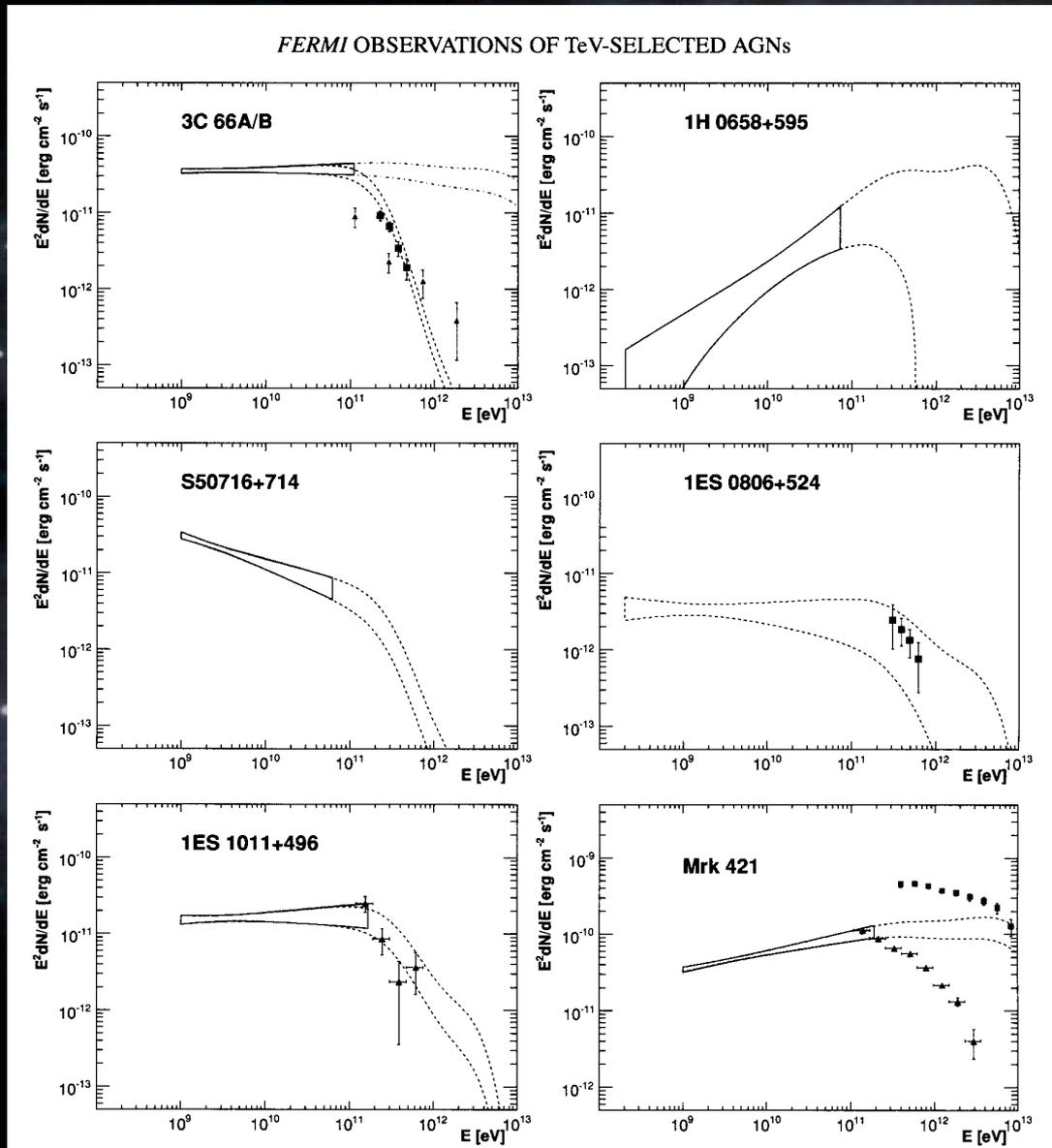
Источник	Спектральный индекс	
	EGRET	FERMI
GEMINGA	1.66±0.01	1.921±0.003
VELA	1.69±0.01	2.024±0.003
CRAB	2.19±0.02	2.248±0.007

**ПЕРЕМЕННОСТЬ ИСТОЧНИКОВ!!!**

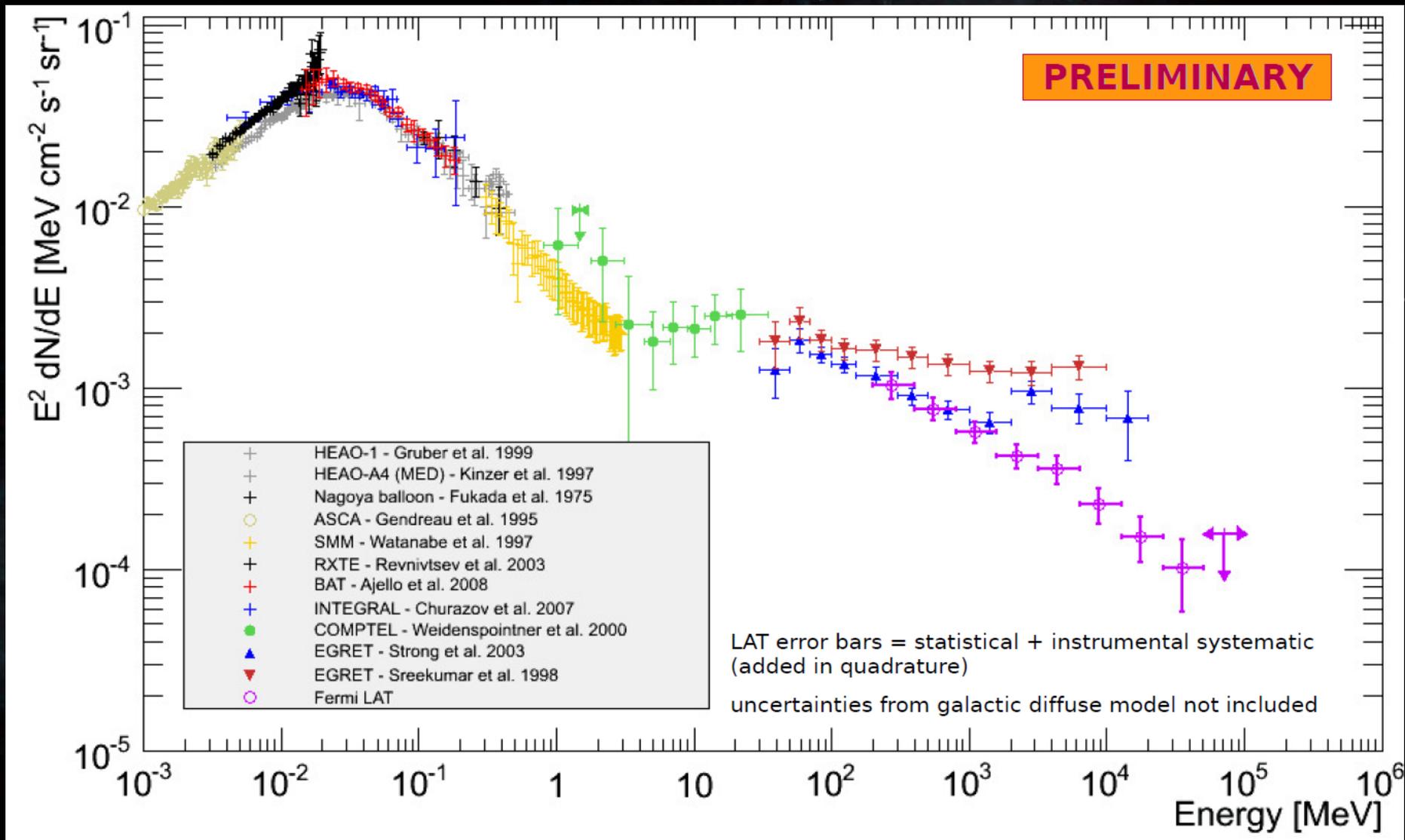
Galper A. *et al.*, *Uspekhi Fis. Nauk*, **112** (1974) 491.

# Высокоэнергичное гамма-излучение дискретных источников по данным Fermi и наземных гамма-телескопов ( $> 10$ ГэВ)

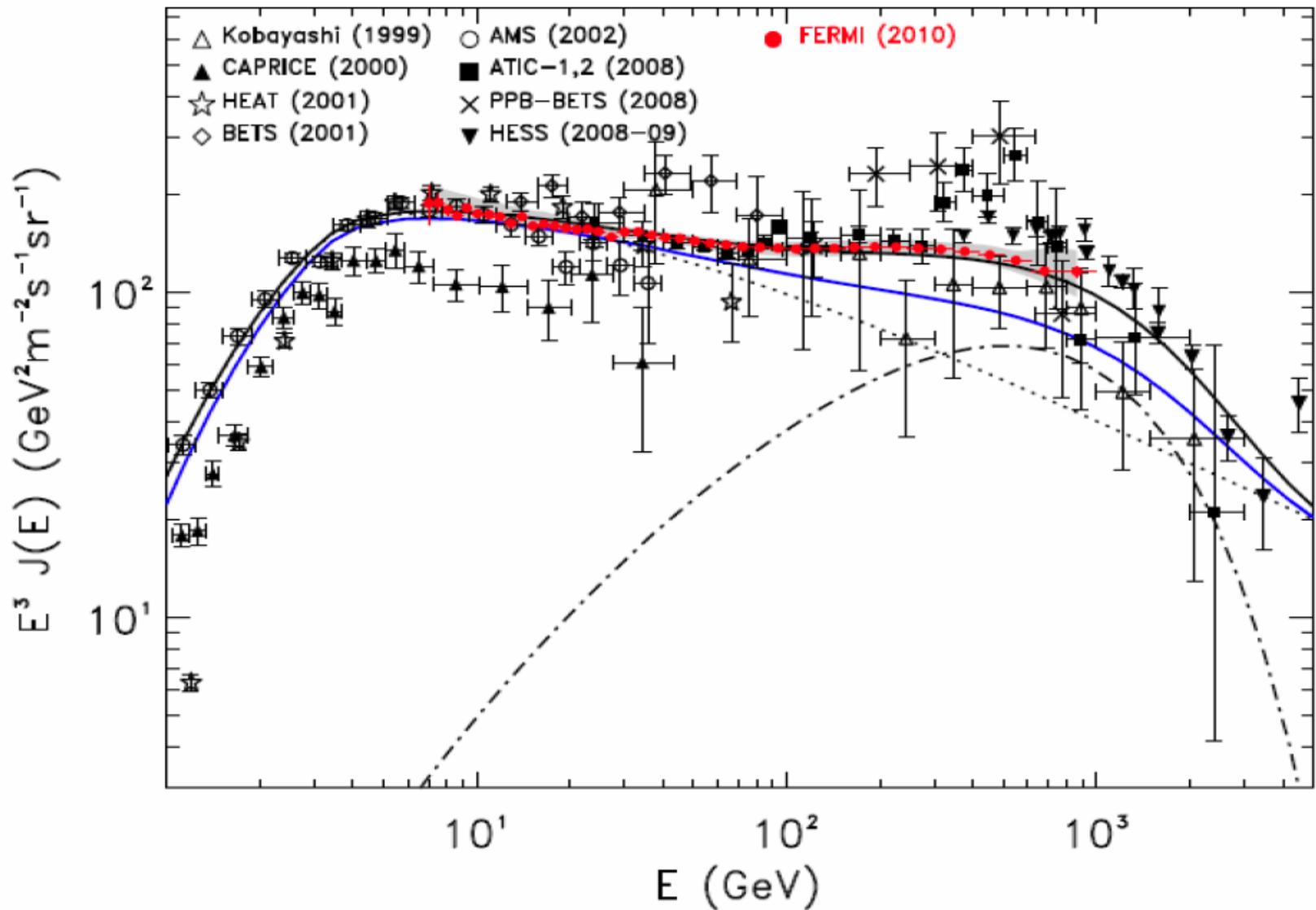
(Astrophysical Journal, 707:1310–1333, 2009)



# Изотропное диффузное гамма-излучение (1 кэВ – 100 ГэВ)



По данным Fermi-LAT  $\gamma = 2.45$  (200 МэВ – 50 ГэВ)



Спектр электронов и позитронов (arxiv: 1012.0424).

# Требования к следующему поколению гамма-телескопов

1. Расширение энергетического диапазона до нескольких ТэВ (для надежного сопоставления данных космических и наземных гамма-телескопов и измерения спектра электронов).
2. Улучшение энергетического разрешения до 1-2% (для надежного выделения особенностей энергетического спектра гамма-квантов и электронов).
3. Улучшение углового разрешения до  $0,01^\circ$  (для надежной идентификации дискретных гамма-источников).
4. Повышение эффективности выделения гамма-квантов, электронов и позитронов на фоне протонов.



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СОВЕТ ПО КОСМОСУ

119991 ГСП-1 Москва, Ленинский просп., 14  
Электронная почта: avalferov@presidium.ras.ru

тел. (495) 237-35-32  
факс (495) 954-10-74

**РЕШЕНИЕ**

**15 апреля 2010 г.**

**№ 10310-07**

г. Москва

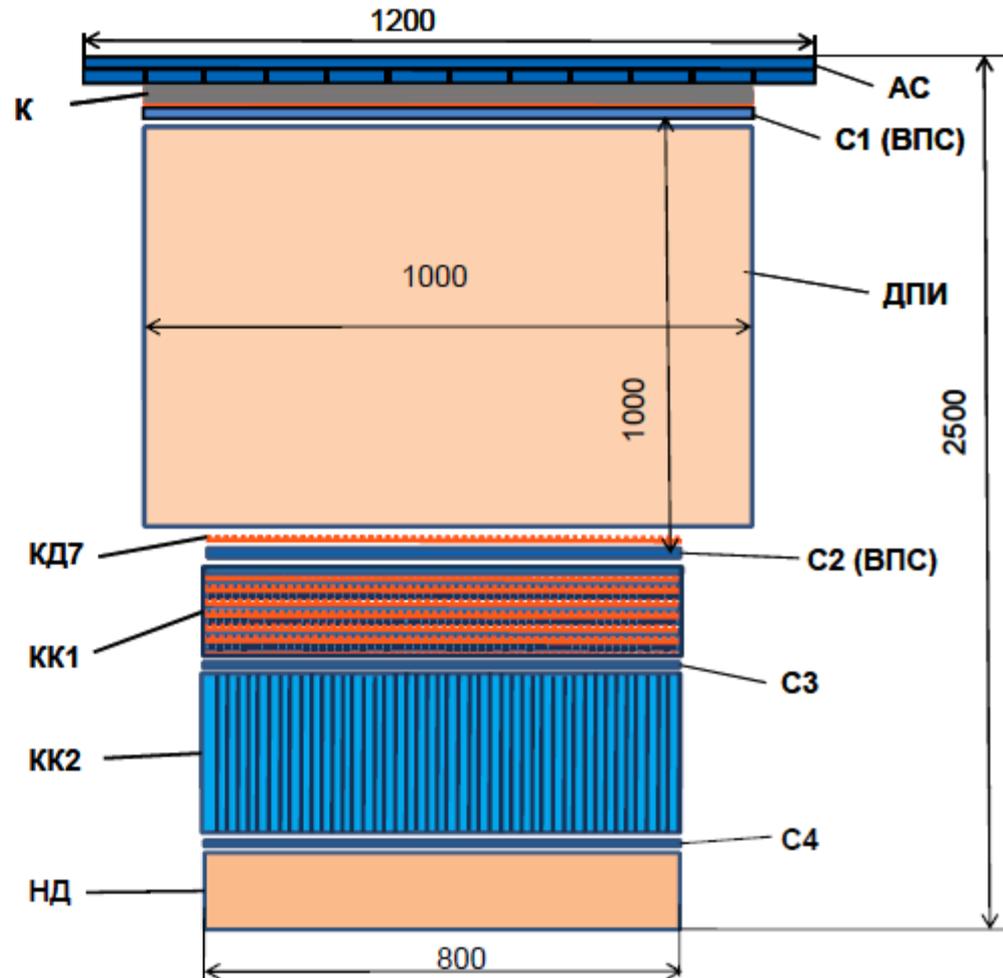
*«Научные задачи и перспективы реализации проекта «Гамма-400» для исследования космического гамма-излучения в диапазоне энергий 1-3000 ГэВ».*

Совет Российской академии наук (РАН) по космосу (далее Совет) на заседании 15 апреля 2010 г. заслушав и обсудив доклады д.ф.-м.н. Гальпера А.М. (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) и Московский инженерно-физический институт - МИФИ) и д.т.н. Хартова В.В. (генеральный конструктор и генеральный директор НПО им. С.А. Лавочкина) о научных задачах и перспективах реализации проекта «Гамма-400» для исследования космического гамма-излучения в диапазоне энергий 1-3000 ГэВ,  
**РЕШИЛ:**

4. Рекомендовать ФИАН и НПО им. С.А. Лавочкина разработать и включить в эскизный проект «ГАММА-400» дополнение в соответствии с новыми научными результатами в наблюдательной гамма - астрономии и техническими предложениями, обеспечивающими успешное выполнение научной программы.

# Физическая схема перспективного варианта ГАММА-400, разрабатываемого в рамках ДЭП ОКР ГАММА-400

- АС - детектор антисовпадения
- К - конвертер 6 слоев  
0,14 р.е.д. вольфрам + Si (x,y)  
стриповые детекторы (шаг 0,1 мм)
- КД7 - Si (x,y) стриповый  
детектор (0,1 мм)
- С1, С2 - ВПС детекторы
- ДПИ - детектор переходного излучения
- КК1 - позиционно-чувствительный  
калориметр (10 р.е.д.)  
10 слоев - Si (x,y) стриповые  
детекторы (шаг 0,5 мм) + ВGO (1 р.е.д.)
- КК2 - электромагнитный ВGO калориметр  
(21,5 р.е.д.)
- С3, С4 - сцинтиляционные детекторы
- НД - нейтронный детектор



# Характеристики гамма-телескопа ГАММА-400

	Конкурсные требования	ЭП (Эскизный проект)	Перспективный вариант
Угловое разрешение	1°	0,2°	~0,01°
Энергетическое разрешение	3%	~ 3%	~1%
Диапазон энергий	30 – 1000 ГэВ	30 – 1000 ГэВ	0,1-3000 ГэВ
Чувствительная площадь		0,44 м <sup>2</sup>	0,64 м <sup>2</sup>
Вес	1700 кг	1700 кг	2600 кг
Энергопотребление	800 Вт	800 Вт	2000 Вт
Объем передаваемой информации	500 Мб/сутки	500 Мб/сутки	100 Гбайт/сутки
Регистрируемые частицы	гамма–кванты, заряженные частицы с $Z < 30$	гамма–кванты, электроны, позитроны, протоны, ядра	гамма–кванты, электроны, позитроны, протоны, ядра

# Сравнение характеристик ГАММА-400 (перспективный вариант) и Fermi-LAT

	Fermi-LAT	ГАММА-400
Орбита	560 км	500-300000 км
Диапазон энергий	100 МэВ - 100 ГэВ	100 МэВ - 3000 ГэВ
Чувствительная площадь	1,8 м <sup>2</sup>	0,64 м <sup>2</sup>
Координатные детекторы	Si стрипы с шагом 0,23 мм	Si стрипы с шагом 0,1 мм
Угловое разрешение (E $\gamma$ > 100 ГэВ)	~0,1°	~0,01°
Калориметр	CsI	BGO + Si стрипы
- толщина, р.е.д.	8,5	~30
Энергетическое разрешение (E $\gamma$ > 10 ГэВ)	~10%	~1%
Режекция протонов	10 <sup>4</sup>	~10 <sup>6</sup>
Чувствительность, фотон/см <sup>2</sup> с (E $\gamma$ > 100 МэВ)	~5x10 <sup>-9</sup>	~10 <sup>-9</sup>
Вес КНА, кг	2900	2600
Объем передаваемой информации, Гбайт/сутки	20	100

# СРАВНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ ГАММА-ТЕЛЕСКОПОВ

	КОСМИЧЕСКИЕ ГАММА-ТЕЛЕСКОПЫ					НАЗЕМНЫЕ ГАММА-ТЕЛЕСКОПЫ		
	EGRET	AGILE	Fermi	CALET <i>проект, 2013 г.</i>	<b>ГАММА -400</b>	Н.Е.S.S.-II	MAGIC-II	VERITAS
	США	ИТАЛИЯ	США	ЯПОНИЯ	<b>РОССИЯ</b>	Намибия	Испания, Канарские о-ва	США, Аризона
ДИАПАЗОН ЭНЕРГИЙ, ГэВ	0,03-30	0,03-50	0,1- 100	10- 10000	<b>0,1-3000</b>	100	50	100
УГЛОВОЕ РАЗРЕШЕНИЕ, градус ( $E_\gamma > 100$ ГэВ)	0,2 ( $E_\gamma \sim 0,5$ ГэВ)	0,1 ( $E_\gamma \sim 10$ ГэВ)	0,1	0,1	<b>0,01</b>	0,1	0,1	0,1
ЭНЕРГЕТИ- ЧЕСКОЕ РАЗРЕШЕНИЕ, % ( $E_\gamma > 100$ ГэВ)	15 ( $E_\gamma \sim 0,5$ ГэВ)	50 ( $E_\gamma \sim 10$ ГэВ)	10	2	<b>1</b>	15	20	15

## ОРБИТА ГАММА-400

Космическая обсерватория ГАММА-400 на платформе НАВИГАТОР (НПО им. С.А. Лавочкина) будет запущена на высокоапогейную орбиту (первичные параметры: апогей 300000 км, перигей 500 км, наклонение  $51,8^\circ$ ) в 2016-2017 гг. Срок активного существования - более 7 лет.

