

Российская Академия Наук



Эксперимент ГАММА-400: состояние и перспективы

Николай Топчиев

от имени коллаборации ГАММА-400



КОЛЛАБОРАЦИЯ ГАММА-400

А.М. Гальпер^{а, б}, В. Бонвичини^в, Н.П. Топчиев^а, О. Адриани^г, Р.Л. Аптекарь^д, И.В. Архангельская^б, А.И. Архангельский^б, Л. Бергстрем^е, Е. Берти^г, Г. Бигонгъяри^ж, С.Г. Бобков^з, Э.А. Богомолов^д, М. Боецио^в, М. Бонги^г, С. Бонеки^ж, С. Боттаи^г, К.А. Боярчук^и, А. Вакки^в, Е. Ваннучини^г, Г.И. Васильев^д, Г. Кастеллини^к, П.В. Каттанео^л, П. Кумани^в, Г.Л. Деденко^б, В.А. Догель^а, С. Де Донато^м, Б.И. Гнатык^о, М.С. Горбунов^з, Ю.В. Гусаков^а, Н. Зампа^в, В.Н. Зираakashvili^у, В.Г. Зверев^б, В.В. Кадилин^б, В.А. Каплин^б, А.А. Каплун^б, В.Е. Корепанов^п, Ж. Ларссон^н, А.А. Леонов^б, В.А. Логинов^б, Ф. Лонго^в, П. Маестро^ж, П.С. Маррокези^ж, В.В. Михайлов^б, Э. Моккьюти^в, А.А. Моисеев^р, Н. Мори^г, И.В. Москаленко^с, П.Ю. Наумов^б, П. Папини^г, П. Пикоцца^м, М. Пирс^м, А.В. Попов^з, Ф. Райд^н, А. Рапполди^л, С. Рикьярини^к, М.Ф. Рунцо^б, О.В. Сердин^з, Р. Спарволи^м, П. Спиллантини^г, С.И. Сучков^а, М. Тавани^т, А.А. Тараскин^б, А. Тиберио^г, Е.М. Тюрин^б, М.В. Уланов^д, Ч. Фуглесанг^н, М.Д. Хеймиц^б, Ю.Т. Юркин^б

•^а Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

•^б Научно-исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

•^в Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Trieste and Physics Department of University of Trieste, Trieste, Italy

•^г Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze and Physics Department of University of Florence, Firenze, Italy

•^д Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

•^е Stockholm University, Department of Physics; and the Oskar Klein Centre, AlbaNova University Center, Stockholm, Sweden

•^ж Department of Physical Sciences, Earth and Environment, University of Siena and Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Pisa, Italy

•^з Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва

•^и ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики», Истра

•^к Istituto di Fisica Applicata Nello Carrara - CNR and Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze, Firenze, Italy

•^л Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Pavia, Pavia, Italy

•^м Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Roma 2 and Physics Department of University of Rome Tor Vergata, Rome, Italy

•^н KTH Royal Institute of Technology, Department of Physics; and the Oskar Klein Centre, AlbaNova University Center, Stockholm, Sweden

•^о Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

•^п Lviv Center of Institute of Space Research, Lviv, Ukraine

•^р CRESST/GSFC and University of Maryland, College Park, Maryland, USA

•^с Hansen Experimental Physics Laboratory and Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Stanford University, Stanford, USA

•^т Istituto Nazionale di Astrofisica IASF and Physics Department of University of Rome Tor Vergata, Rome, Italy

•^у Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкина РАН, Троицк

Комплекс научной аппаратуры «ГАММА-400»

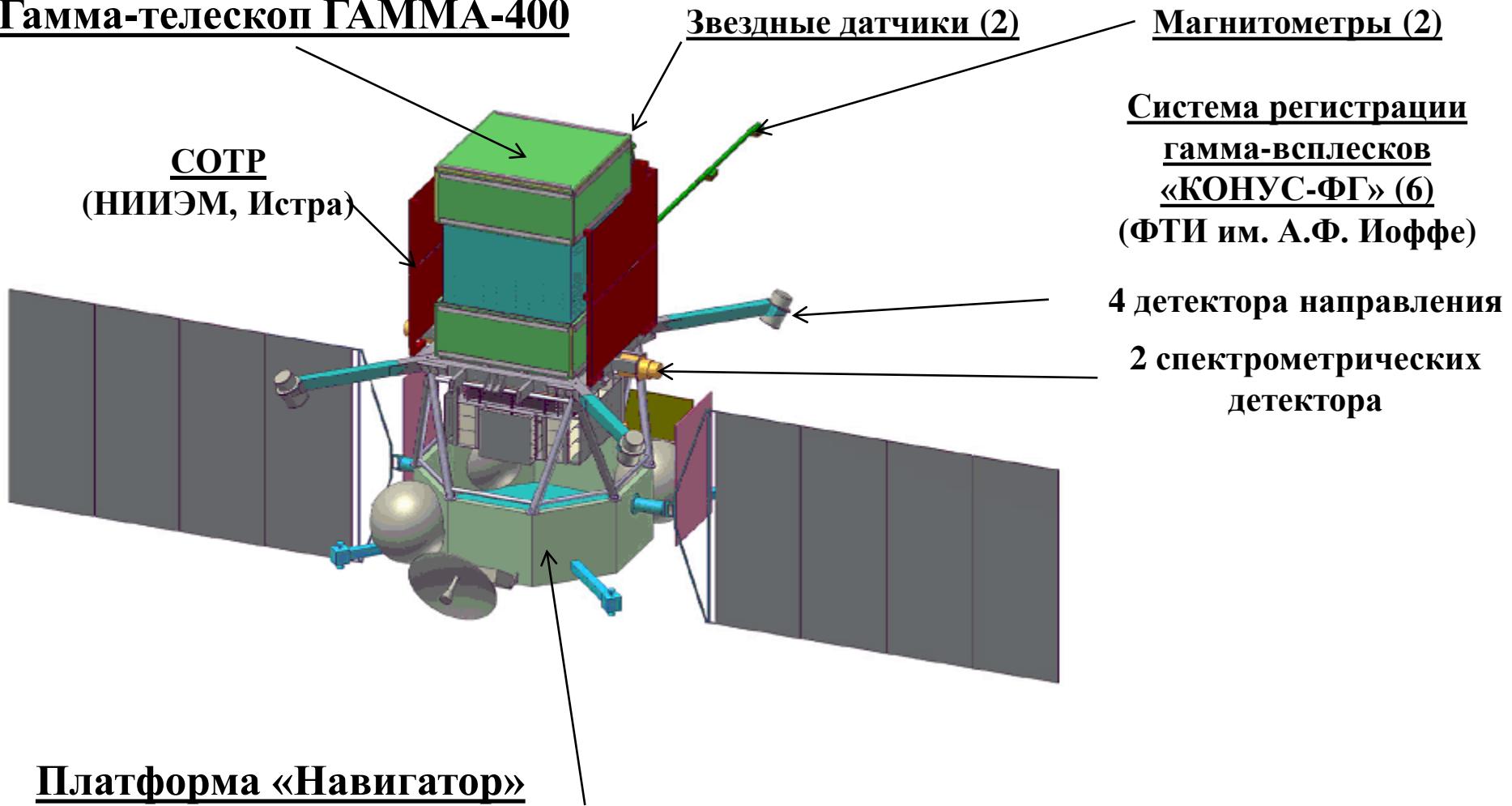
предназначен для:

- регистрации космического высокоэнергичного гамма-излучения;
- поиска особенностей в энергетических спектрах высокоэнергичного гамма-излучения от дискретных и протяженных источников и электрон-позитронной компоненты, которые могут быть связаны с частицами «темной материи»;
- регистрации высокоэнергичного гамма-излучения от переменных дискретных источников с целью выяснения природы ускорительных процессов элементарных частиц в этих источниках;
- поиска и исследования гамма-всплесков;
- регистрации высокоэнергичных ядер;
- регистрации высокоэнергетического гамма-излучения, потоков электронов и позитронов, ядер при солнечных вспышках.

ГАММА-ТЕЛЕСКОП ГАММА-400

ГАММА-400 оптимизирован для регистрации гамма-квантов с энергией 100 ГэВ с наилучшими параметрами: угловое разрешение $\sim 0.01^\circ$, энергетическое разрешение $\sim 1\%$, коэффициент режекции протонов $\sim 10^6$, но способен регистрировать потоки гамма-излучения и электронов + позитронов в энергетическом диапазоне от 100 МэВ до 10 ТэВ, а также потоки высокоэнергичных ядер. Эффективная площадь ГАММА-400 $\sim 4000 \text{ см}^2$ при $E_\gamma > 1 \text{ ГэВ}$, общая масса 4100 кг, потребление $\sim 2000 \text{ Вт}$, объем передаваемой информации 100 Гбайт/день. В состав КНА «ГАММА-400» кроме гамма-телескопа входят также два звездных датчика с точностью 5", два магнитометра, система регистрации гамма-всплесков КОНУС-ФГ.

Гамма-телескоп ГАММА-400



Звездные датчики (2)

Магнитометры (2)

Система регистрации

гамма-всплесков
«КОНУС-ФГ» (6)

(ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

4 детектора направления

2 спектрометрических
детектора

КНА «ГАММА-400» на
платформе «Навигатор»

СХЕМА ВЫВЕДЕНИЯ ГАММА-400

СХЕМА ВЫВЕДЕНИЯ



Проект «ГАММА-400» включен в ФКП 2009-2015 и в разрабатываемую в настоящее время ФКП 2016-2025. Запуск ГАММА-400 планируется на 2021 г. с помощью РН «Протон-М» вместе с РБ «Бриз».
Срок активного существования более 7 лет.

ОРБИТА ГАММА-400 И РЕЖИМЫ НАБЛЮДЕНИЯ

Начальные параметры орбиты:

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

Орбита не будет затеняться

Землей



Основные режимы наблюдений:

- длительные наблюдения (~100 дней) Галактического центра и протяженных гамма-источников;**
- мониторинг небесной сферы.**

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

Физическая схема гамма-телескопа ГАММА-400

Антисовпадательная система
(AC), МИФИ

Времяпролетная система
(ToF), МИФИ

Конструкция, СОТР,
электрический интерфейс
НИИЭМ, Истра

Сцинтилляционные детекторы (S3, S4)
Боковые детекторы (LD)
МИФИ

Система сбора
научной информации
НИИСИ РАН

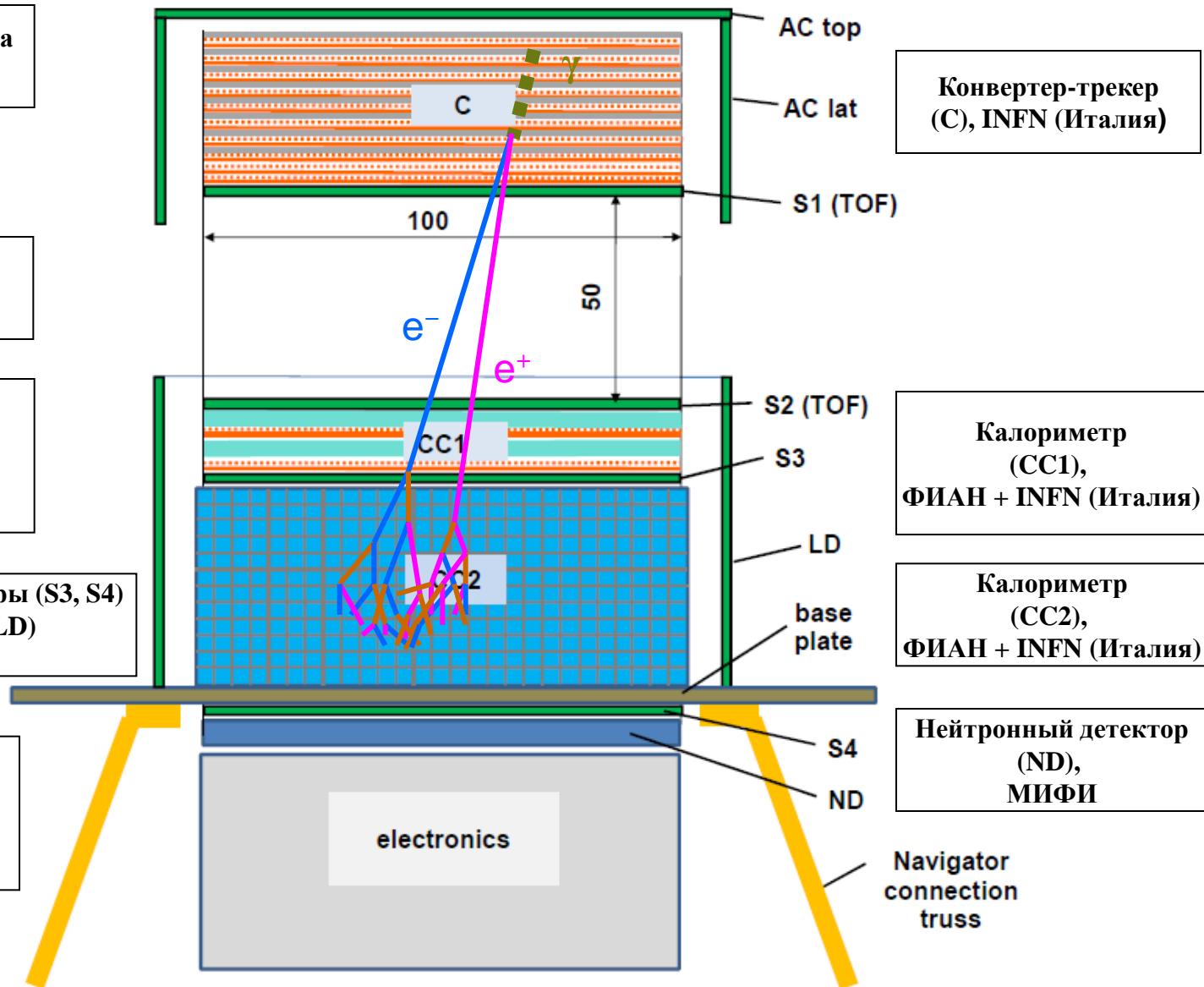
Конвертер-трекер
(C), INFN (Италия)

Калориметр
(CC1),
ФИАН + INFN (Италия)

Калориметр
(CC2),
ФИАН + INFN (Италия)

Нейтронный детектор
(ND),
МИФИ

Navigator
connection
truss



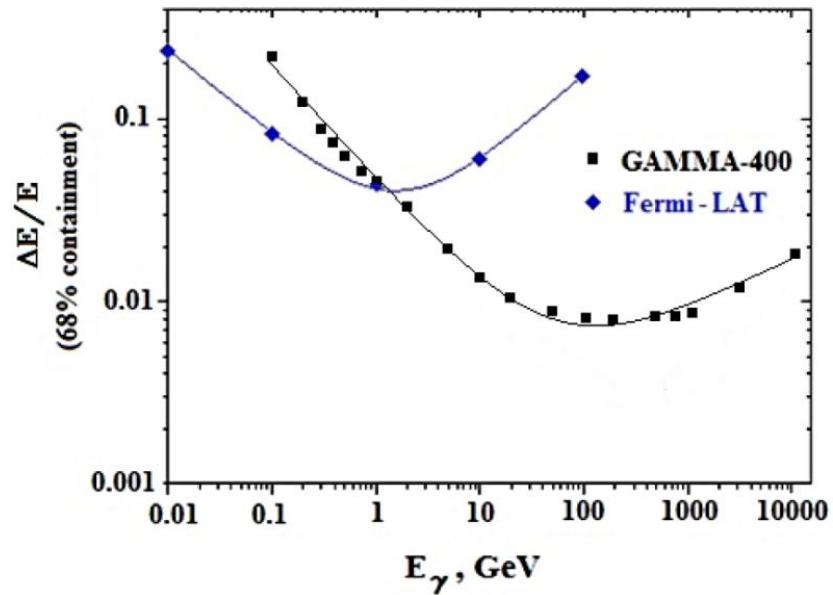
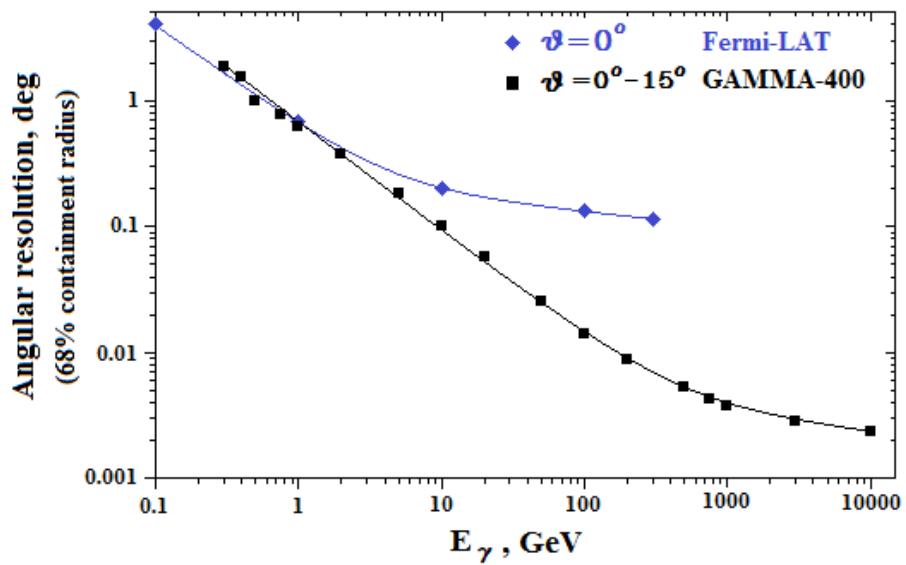
	ЭП (эскизный проект) 2009-2010 гг.	ДЭП (дополнение к эскизному проекту) 2011-2012 гг.	ТП (технический проект) 2013-2014 гг.
Диапазон энергий	30-1000 ГэВ	0,1-3000 ГэВ	0,1-3000 ГэВ
Угловое разрешение (при $E_{\gamma} > 100$ ГэВ)	$0,2^{\circ}$	$\sim 0,01^{\circ}$	$\sim 0,01^{\circ}$
Энергетическое разрешение (при $E_{\gamma} > 10$ ГэВ)	$\sim 3\%$	$\sim 1\%$	$\sim 1\%$
Чувствительная площадь	$0,44 \text{ м}^2$	$0,64 \text{ м}^2$	$1,0 \text{ м}^2$
Вес	1700 кг	2600 кг	4100 кг
Энергопотребление	800 Вт	2000 Вт	2000 Вт
Объем передаваемой информации	500 Мбайт/сутки	100 Гбайт/сутки	100 Гбайт/сутки
Регистрируемые частицы	гамма-кванты, электроны, позитроны, протоны, ядра	гамма-кванты, электроны, позитроны, протоны, ядра	гамма-кванты, электроны, позитроны, протоны, ядра

Задачи технического проекта

- Проведение углубленного численного анализа физико-технических характеристик КНА «ГАММА-400»
- Разработка и изготовление макетов систем гамма-телескопа и макета КНА «ГАММА-400» в целом для экспериментальной проверки технических решений в лабораторных условиях

Расчеты характеристик ГАММА-400

Расчетные группы: ФИАН+МИФИ, ФТИ, INFN



Геометрический фактор $\Gamma \sim 0,5 \text{ м}^2\text{ср}$

Эффективная площадь $S_{\text{эф}} \sim 4000 \text{ см}^2$

E_e , ГэВ	Коэффициент режекции
50	$(12.8 \pm 2) \times 10^5$
100	$(4.0 \pm 0.7) \times 10^5$
200	$(5.0 \pm 0.7) \times 10^5$
1000	$(4.1 \pm 0.7) \times 10^5$

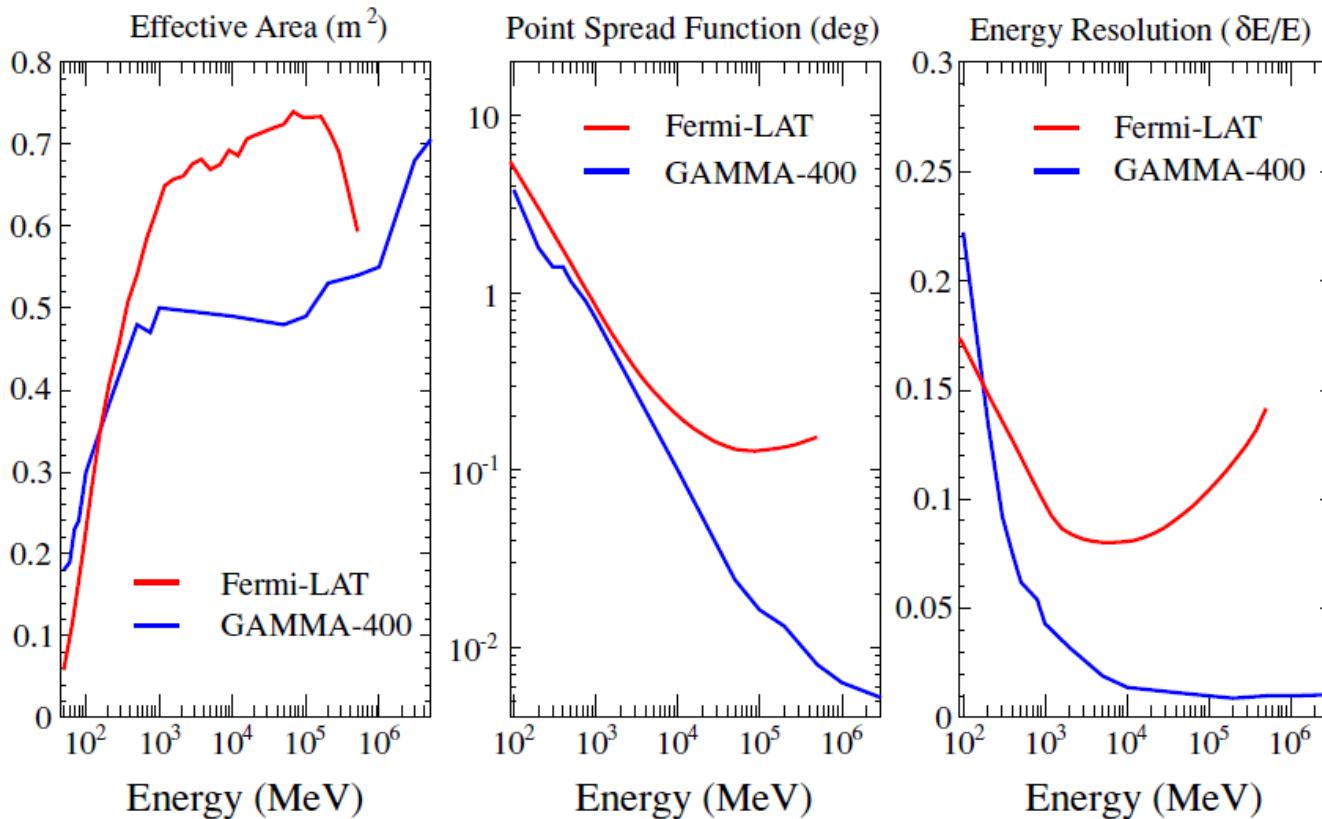


Figure 3. The effective area (*left panel*), the point spread function (PSF) (*middle panel*), and the energy resolution (*right panel*) are shown as a function of the gamma-ray energy (in unit of MeV). Both cases for the Fermi-LAT [103] and the GAMMA-400 telescopes [104] are shown in each figure as red and blue lines, respectively.



PUBLISHED FOR SISSA BY SPRINGER

RECEIVED: May 23, 2014

ACCEPTED: June 21, 2014

PUBLISHED: July 17, 2014

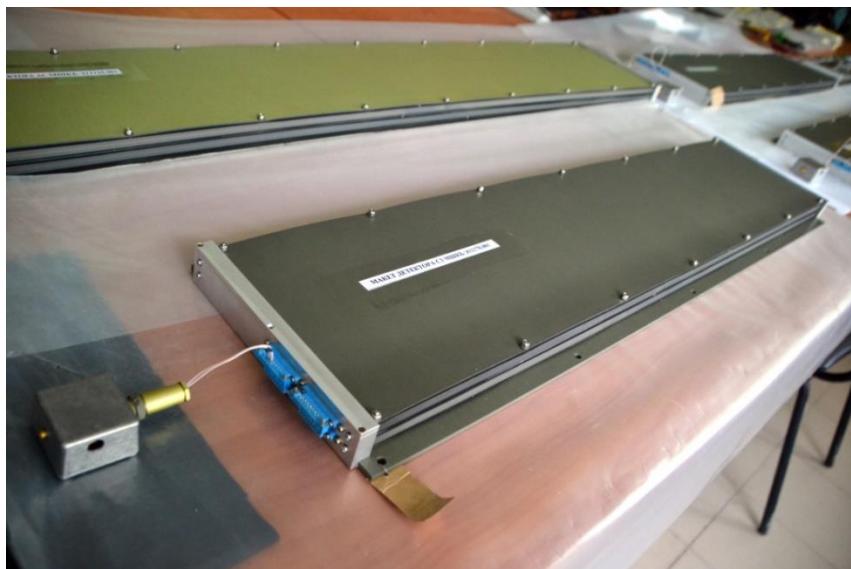
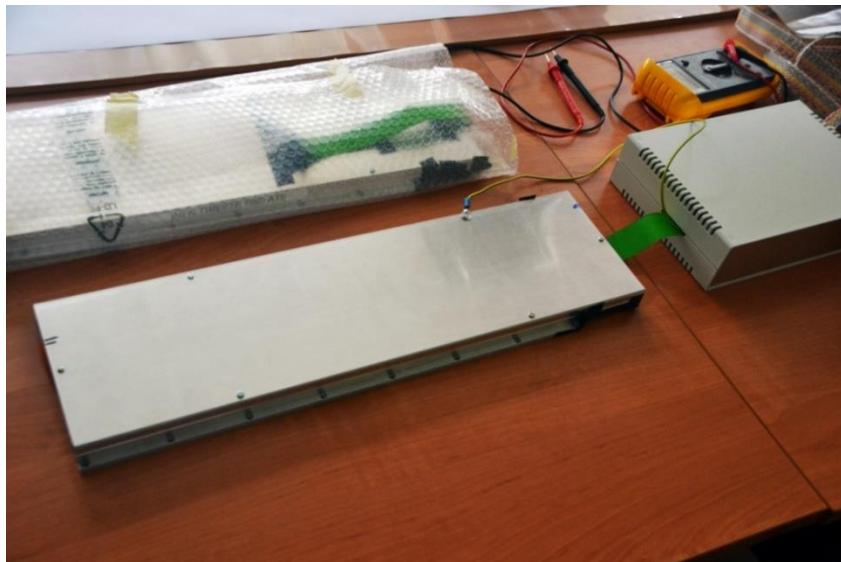
Wino dark matter and future dSph observations

Biplob Bhattacharjee,^a Masahiro Ibe,^{a,b} Koji Ichikawa,^a Shigeki Matsumoto^a and Kohei Nishiyama^a

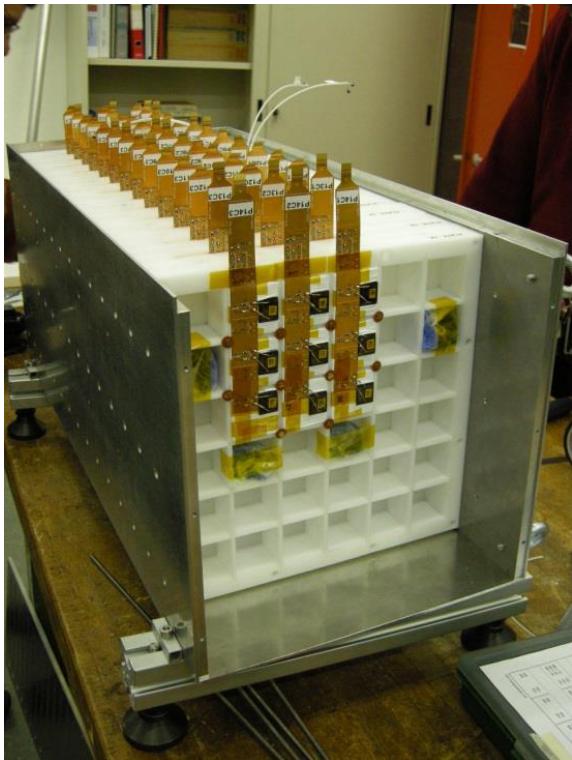
^aKavli IPMU (WPI), University of Tokyo,
Kashiwa, Chiba 277-8583, Japan

^bICRR, University of Tokyo,
Kashiwa, Chiba 277-8582, Japan

Лабораторный макет «ГАММА-400» - 1



Лабораторный макет «ГАММА-400» - 2



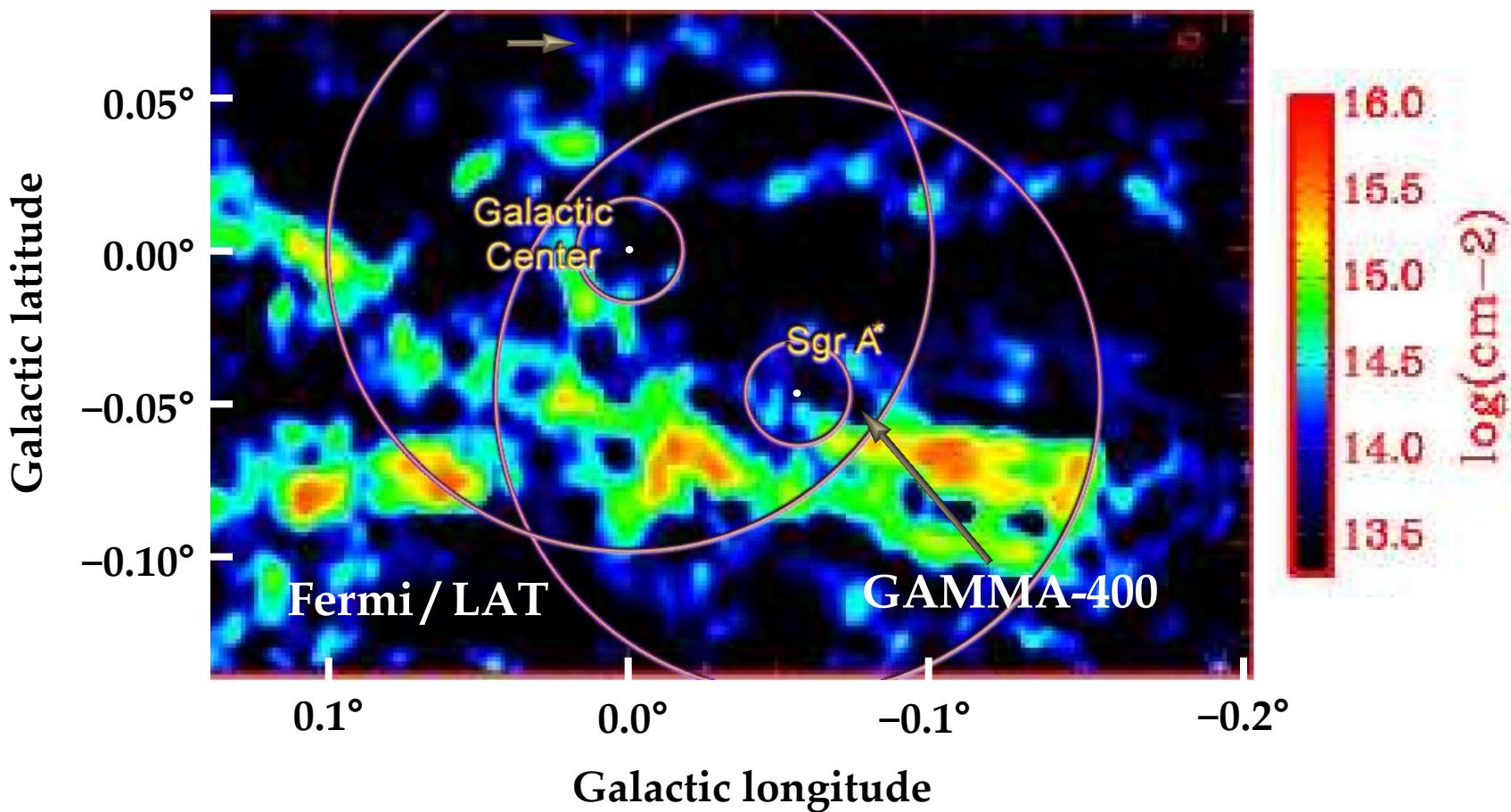
Лабораторный макет «ГАММА-400» - 3



Сравнение основных параметров ГАММА-400 и Fermi-LAT

	Fermi-LAT	ГАММА-400
Орбита	круговая, 565 км	высокоэллиптическая, 500-300000 км (без затенения Землей)
Энергетический диапазон	20 МэВ - 300 ГэВ	100 МэВ – 10 000 ГэВ
Эффективная площадь ($E_{\gamma} > 1$ ГэВ)	~ 8000 см ²	~ 4000 см ²
Коорд. детекторы	Si strips (шаг 0.23 мм)	Si strips (шаг 0.1 мм)
Угловое разрешение ($E_{\gamma} > 100$ ГэВ)	$\sim 0.1^\circ$	$\sim 0.01^\circ$
Калориметр - толщина	CsI $\sim 8.5X_0$	CsI(Tl)+Si strips $\sim 25X_0$
Энергетическое разрешение ($E_{\gamma} > 100$ ГэВ)	$\sim 10\%$	$\sim 1\%$
Коэффициент режекции	$\sim 10^4$	$\sim 5 \times 10^5$
Масса	2800 кг	4100 кг
Объем информации	15 Гбайт/день	100 Гбайт/день

Сравнение возможностей ГАММА-400 и Fermi по угловому разрешению



Background: Integrated intensity map of the NH₃ (1,1) emission
(1.2652 cm wavelength) from [arXiv:1402.4531].

Circles: point spread functions for Fermi/LAT (outer: 0.1° or 15 pc) and
GAMMA-400 (inner: 0.01° or 1.5 pc) at $E_{\gamma} \sim 100$ GeV.

Сравнение возможностей ГАММА-400 и Fermi по энергетическому разрешению

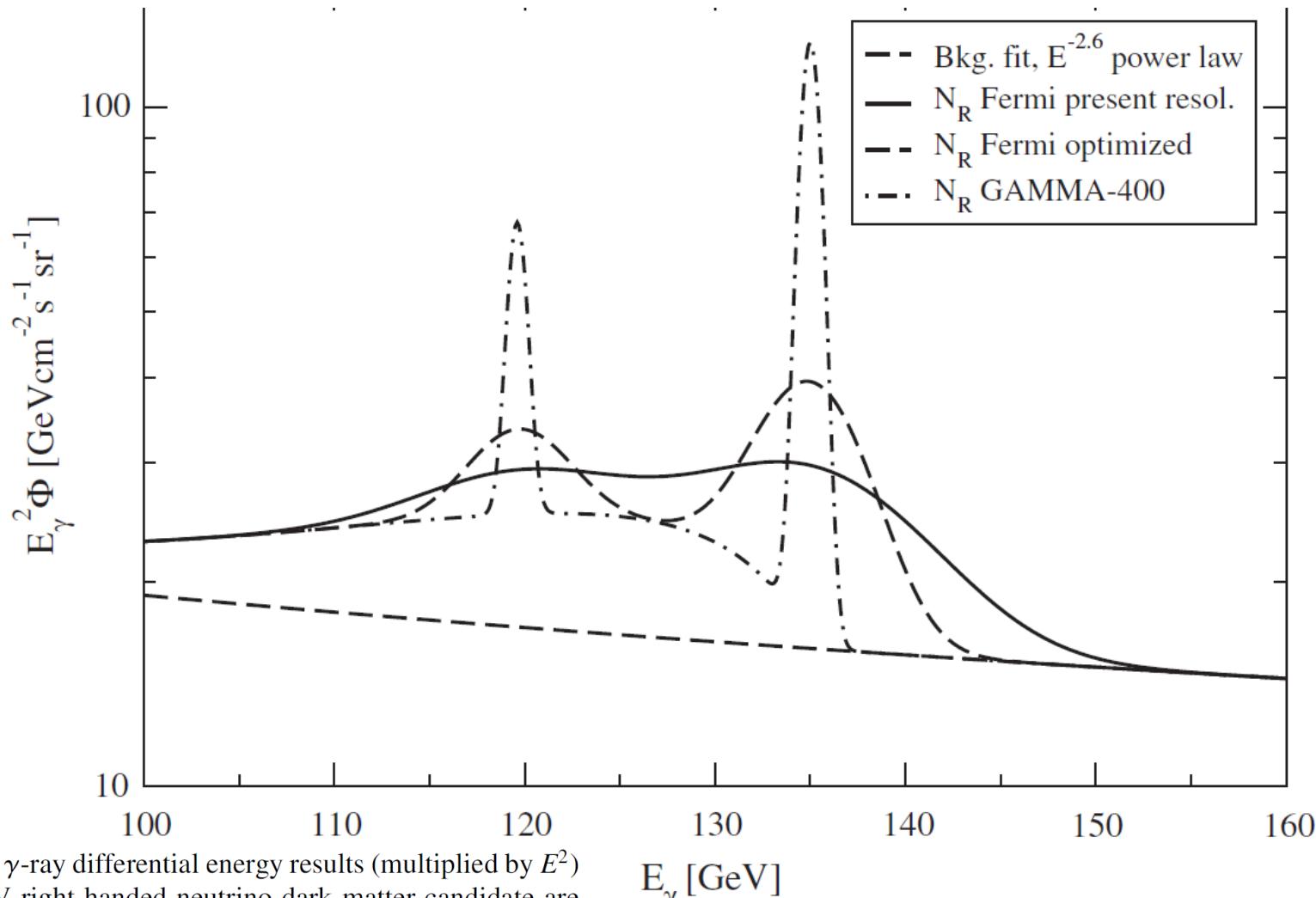


FIG. 3. The γ -ray differential energy results (multiplied by E^2) for a 135 GeV right-handed neutrino dark matter candidate are shown, with the present Fermi-LAT energy resolution $\Delta E/E = 10\%$ FWHM (solid line), with a factor of 2 improvement (dashed line) and with a future γ -ray instrument,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

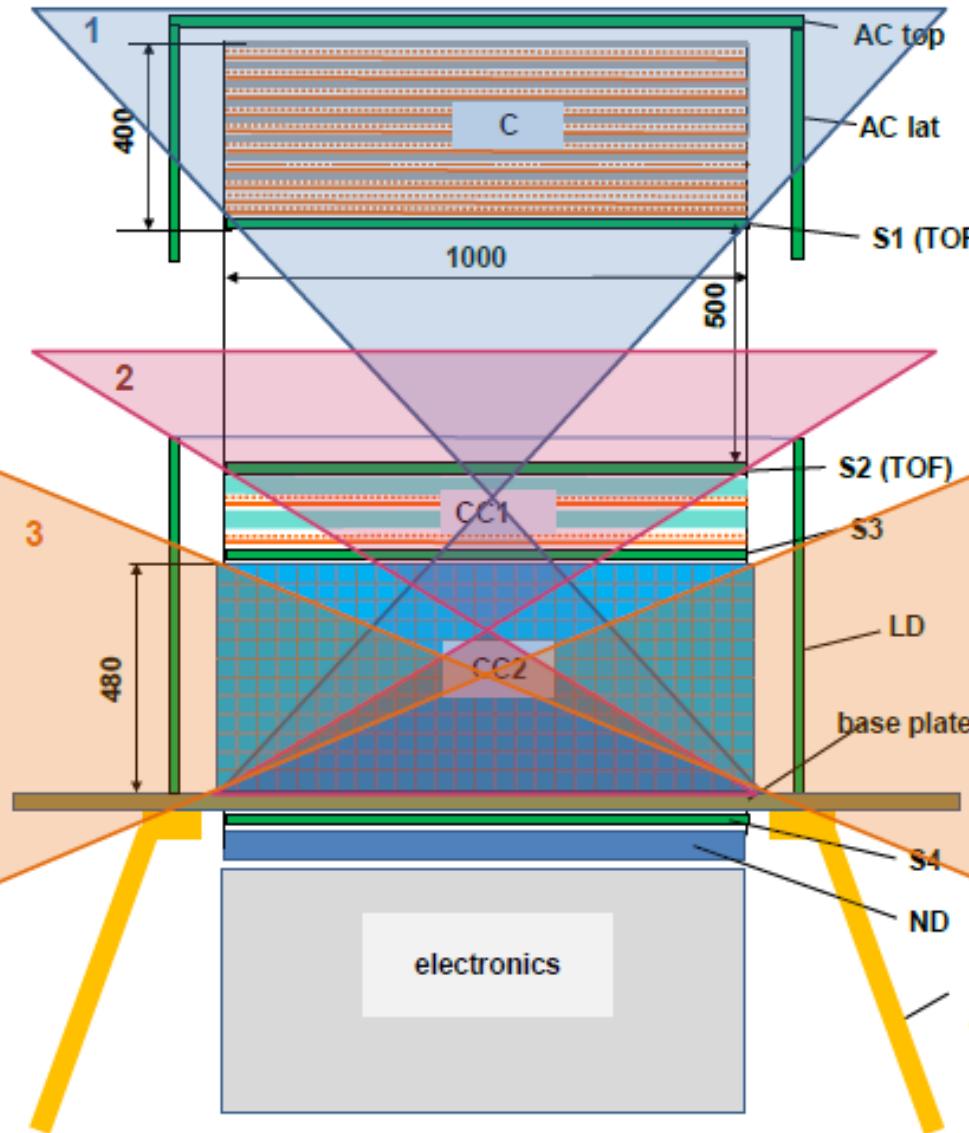
130 GeV fingerprint of right-handed neutrino dark matter

Lars Bergström*

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

	КОСМИЧЕСКИЕ ГАММА-ТЕЛЕСКОПЫ					НАЗЕМНЫЕ ГАММА-ТЕЛЕСКОПЫ			
	EGRET	AGILE	Fermi-LAT	CALET	ГАММА-400	H.E.S.S.-II	MAGIC-II	VERITAS	СТА
	США	Италия	США	Япония	Россия	Намибия	Испания, Канарские о-ва	США, Аризона	
Годы работы	1991-2000	2007-	2008-	2014	2021	2012-	2009-	2007-	2018
Диапазон энергий, ГэВ	0,03-30	0,03-50	0,02-300	10-10000	0,1-10000	> 30	> 50	> 50	> 20
Эффективная площадь, м ²	0,2	0,1	0,8	0,1	0,4	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁶
Угловое разрешение (E _γ > 100 ГэВ)	0,2° (E _γ ~ 0,5 ГэВ)	0,1° (E _γ ~ 1 ГэВ)	0,1°	0,1°	~0,01°	0,07°	0,07° (E _γ = 300 ГэВ)	0,1°	0,1° (E _γ = 100 ГэВ) 0,03° (E _γ = 10 ТэВ)
Энергетическое разрешение (E _γ > 100 ГэВ)	15% (E _γ ~ 0,5 ГэВ)	50% (E _γ ~ 1 ГэВ)	10%	2%	~1%	15%	20% (E _γ = 100 ГэВ) 15% (E _γ = 1 ТэВ)	15%	20% (E _γ = 100 ГэВ) 5% (E _γ = 10 ТэВ)

Поля зрения ГАММА-400 для регистрации гамма-квантов, электронов + позитронов и ядер



1 – гамма-кванты

2 – электроны + позитроны и ядра
 $X_0 = 25$ р.д., $\lambda_0 = 1.2$ я.д.
(для вертикальных событий)

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

Ожидаемая статистика при регистрации электронов

Experiment	Duration	GF (m ² sr)	Calo $\sigma(E)/E$	Calo depth	e/p rejection factor	E>0.5 TeV	E>1 TeV	E>2 TeV	E>4 TeV
CALET	5 y	0.12	~2%	30 X ₀	10 ⁵	7982	1527	238	25
AMS02	10 y	0.5	~2%	16 X ₀	10 ³	66515	12726	1986	211
ATIC	30 d	0.25	~2%	18 X ₀	10 ⁴	273	52	8	1
FERMI	10 y	1.6 @ 300 GeV 0.6@ 800 GeV	~15%	8.6 X ₀	10 ⁴	59864	6362	NA	NA
G400	10 y	3.9	~ 1%	25.4 X ₀	10 ⁵	518819	99266	15488	1647

Ожидаемая статистика при регистрации р и He

~knee
↓

Experiment	Duration	GF (m ² sr)	Calo $\sigma(E)/E$	Calo depth	ϵ sel	E>0.1 PeV		E>0.5 PeV		E>1 PeV		E>2 PeV		E>4 PeV	
						p	He	p	He	p	He	p	He	p	He
CALET	5 y	0.12	~40%	$30 X_0$ $1.3 \lambda_0$	0.8	292	276	17	19	5	6	1	2	0	0
CREAM	180 d	0.43	~45%	$20 X_0$ $1.2 \lambda_0$	0.8	103	97	6	7	2	2	0	1	0	0
ATIC	30 d	0.25	~37%	$18 X_0$ $1.6 \lambda_0$	0.8	10	9	1	1	0	0	0	0	0	0
G400	10 y	3.9	~ 35%	$25.4 X_0$ $1.2 \lambda_0$	0.8	18951	17921	1123	1242	300	374	69	106	11	24

Ожидаемая статистика при регистрации ядер

~knee
↓

Experiment	Duration	GF (m ² sr)	Calo $\sigma(E)/E$	Calo depth	ϵ_{sel}	E>0.1 PeV		E>0.5 PeV		E>1 PeV		E>2 PeV		E> 4 PeV	
						³ Li to ⁹ F	¹⁰ Ne to ²⁴ Cr	³ Li to ⁹ F	¹⁰ Ne to ²⁴ Cr	³ Li to ⁹ F	¹⁰ N e to ²⁴ Cr	³ Li to ⁹ F	¹⁰ Ne to ²⁴ Cr	³ Li to ⁹ F	¹⁰ Ne to ²⁴ Cr
CALET	5 y	0.12	~30%	$30 X_0$ $1.3 \lambda_0$	0.8	136	140	9	10	3	3	1	1	0	0
CREAM	10 y	0.46	~45%	$20 X_0$ $1.2 \lambda_0$	0.8	51	53	4	4	1	1	0	0	0	0
ATIC	30 d	0.25	~37%	$18 X_0$ $1.6 \lambda_0$	0.8	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
TRACER	30 d	5	-	TRD	0.8	93	96	6	7	2	2	1	1	0	0
G400	10 y	3.9	~40%	$25.4 X_0$ $1.2 \lambda_0$	0.8	8830	9073	612	636	193	206	58	69	17	20

Заключение

- Проект ГАММА-400 представляет уникальную возможность провести измерения потоков гамма-излучения, электронов + позитронов, ядер с непревзойденной точностью. Запуск ГАММА-400 планируется примерно в 2021.
- ГАММА-400 обеспечит углубленные исследования в наиболее прорывных задачах, таких как:
 - поиск следов частиц темной материи в спектрах высокоэнергичного гамма-излучения и электронов;
 - происхождение космических лучей, их образование и ускорение до высоких энергий.