

# Проект «ГАММА-400»

Научный руководитель проекта

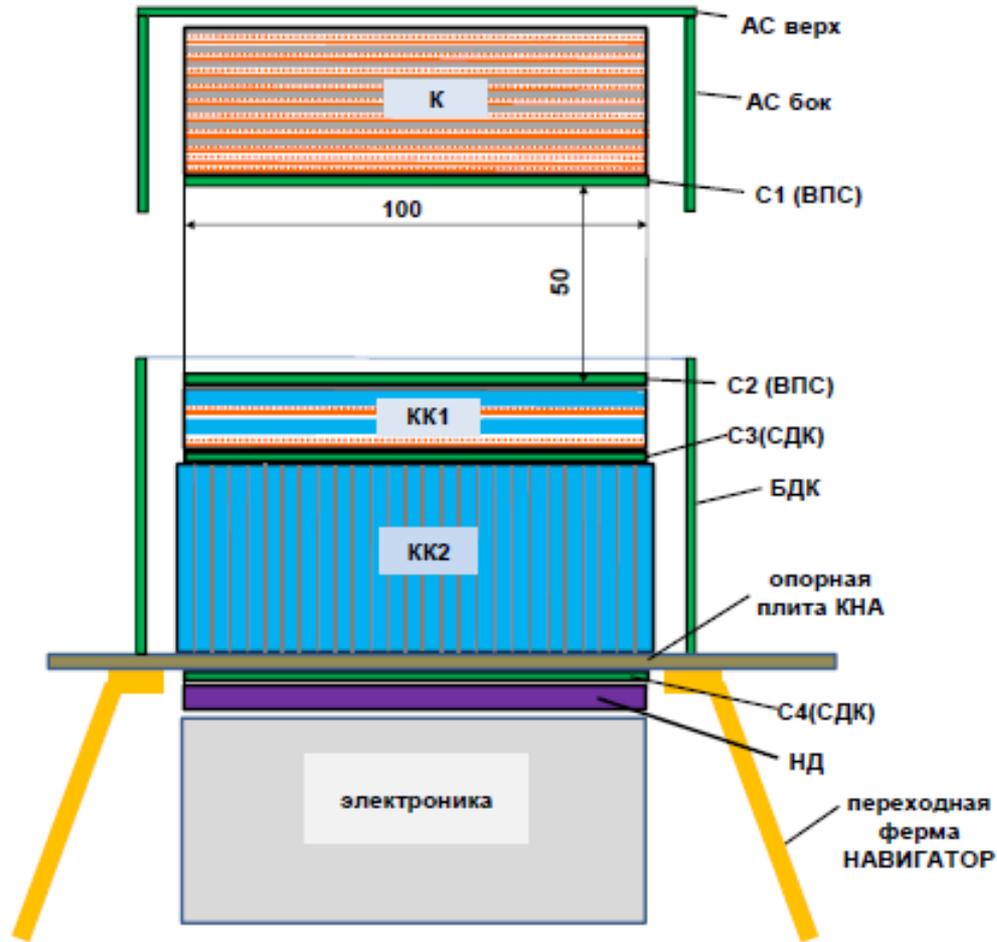
Профессор, д.ф.-м.н.

Гальпер А.М.

# Состояние проекта

- Завершен этап технического проекта
- Решены технические вопросы создания комплекса научной аппаратуры
- Изготовлен лабораторный макет систем КНА
- Произведен обмен письмам руководителей Роскосмоса и ASI (Италия) об участии в проекте «ГАММА-400», согласованы текст Письма о намерении и договора между ФИАН и INFN

# Физическая схема



Модельные расчеты физических характеристик гамма-телескопа ГАММА-400  
(проведены с использованием пакета программ “GEANT4”).

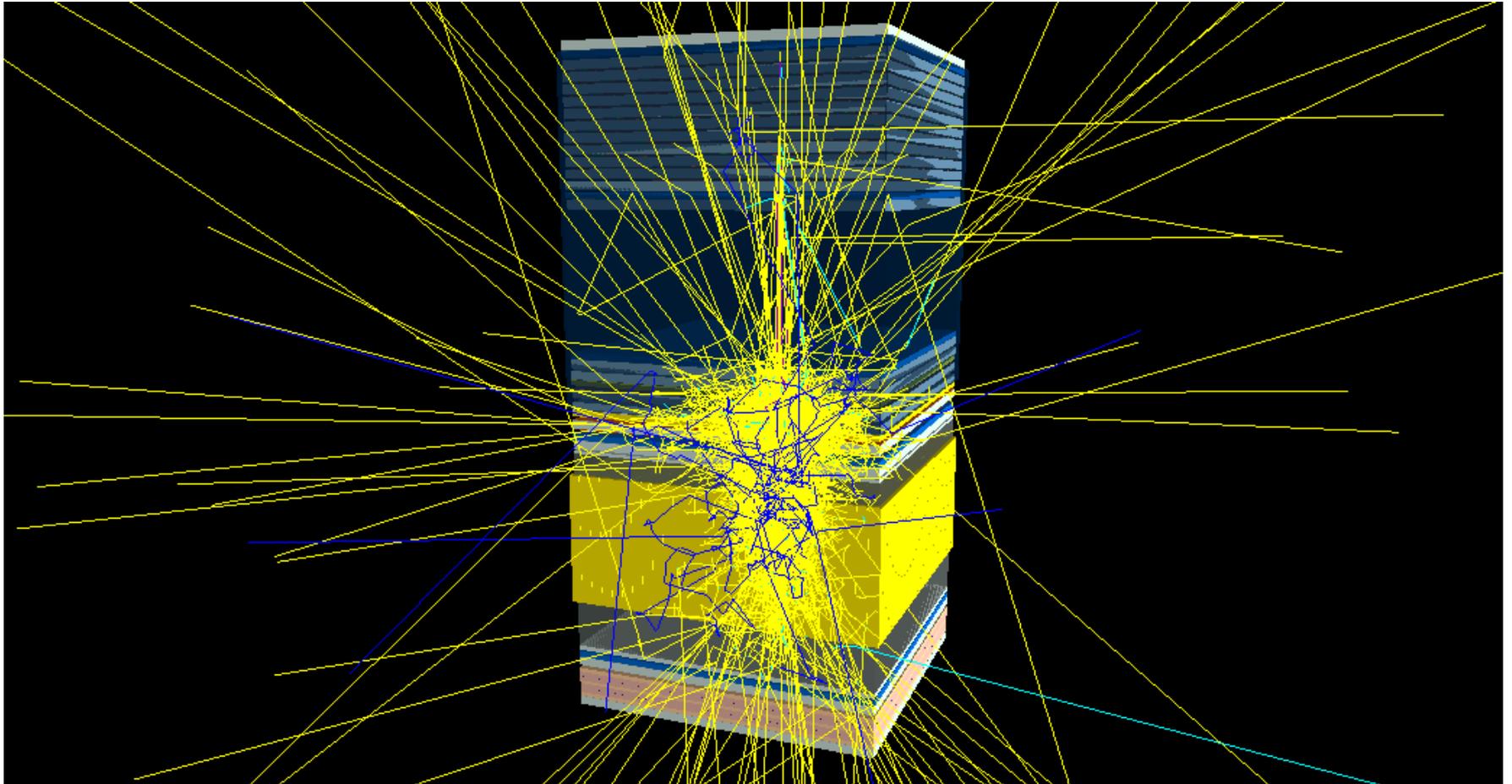
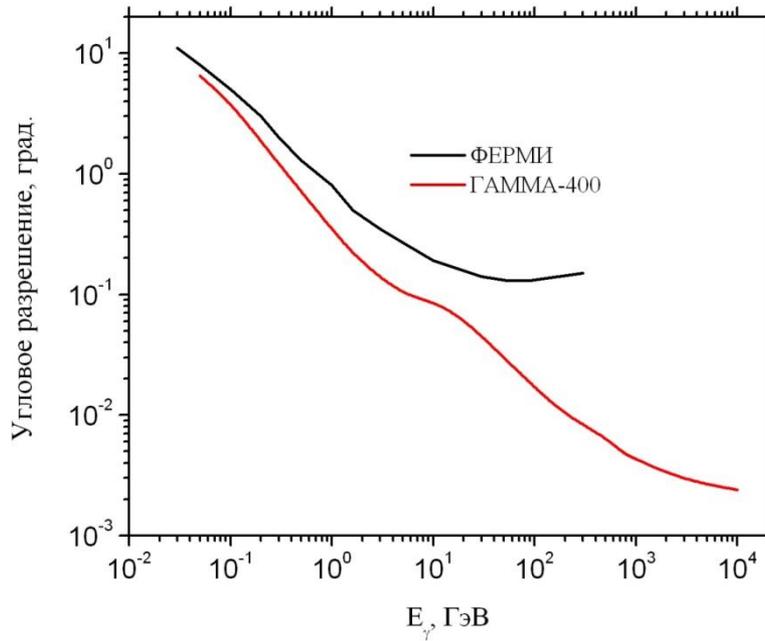


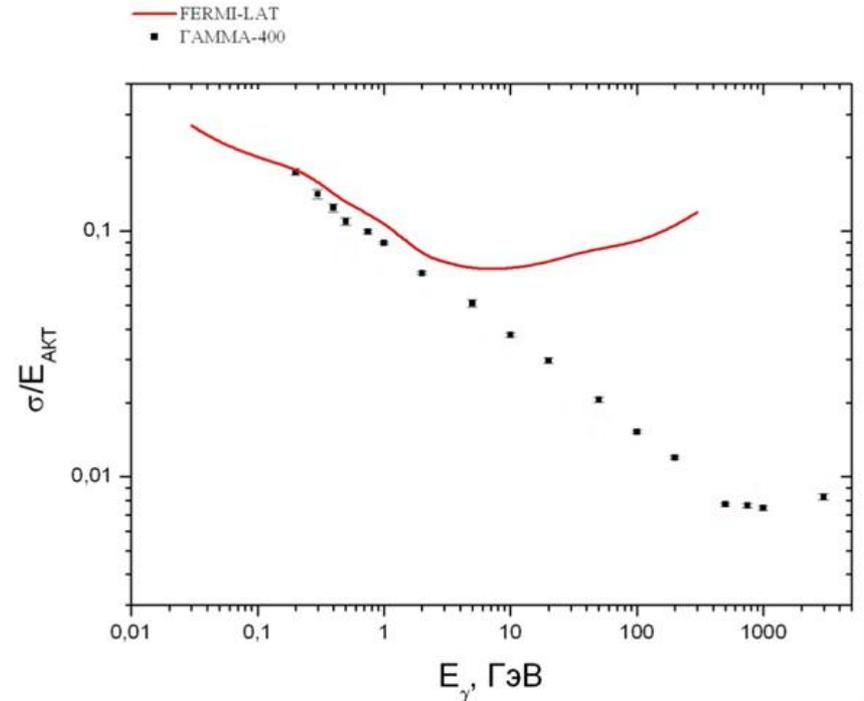
Иллюстрация розыгрыша событий от гамма-кванта 50 ГэВ

# Физические характеристики гамма-телескопа

Характеристики гамма-телескопа	Энергия, ГэВ			
	1	10	50	100
Эффективная площадь, см <sup>2</sup>	4300	4200	4100	4000
Энергетическое разрешение, %	9	3,8	2	1
Угловое разрешение, град	0,25	0,05	0,03	0,015
Режекция протонов и электронов			5x10 <sup>5</sup>	5x10 <sup>5</sup>



Угловое разрешение



Энергетическое разрешение

Эффективная площадь Fermi-LAT в 1,8 раза больше, чем у ГАММА-400

# Программа наблюдения ГАММА-400

## Основные научные задачи

# ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ГАММА-400

- изучение природы темной материи методами гамма-астрономии;
- прецизионные наблюдения галактических и внегалактических дискретных источников гамма излучения;
- исследование высокоэнергичных гамма-всплесков;
- измерение потоков высокоэнергичных электронов + позитронов и ядер.

# Приоритетные задачи

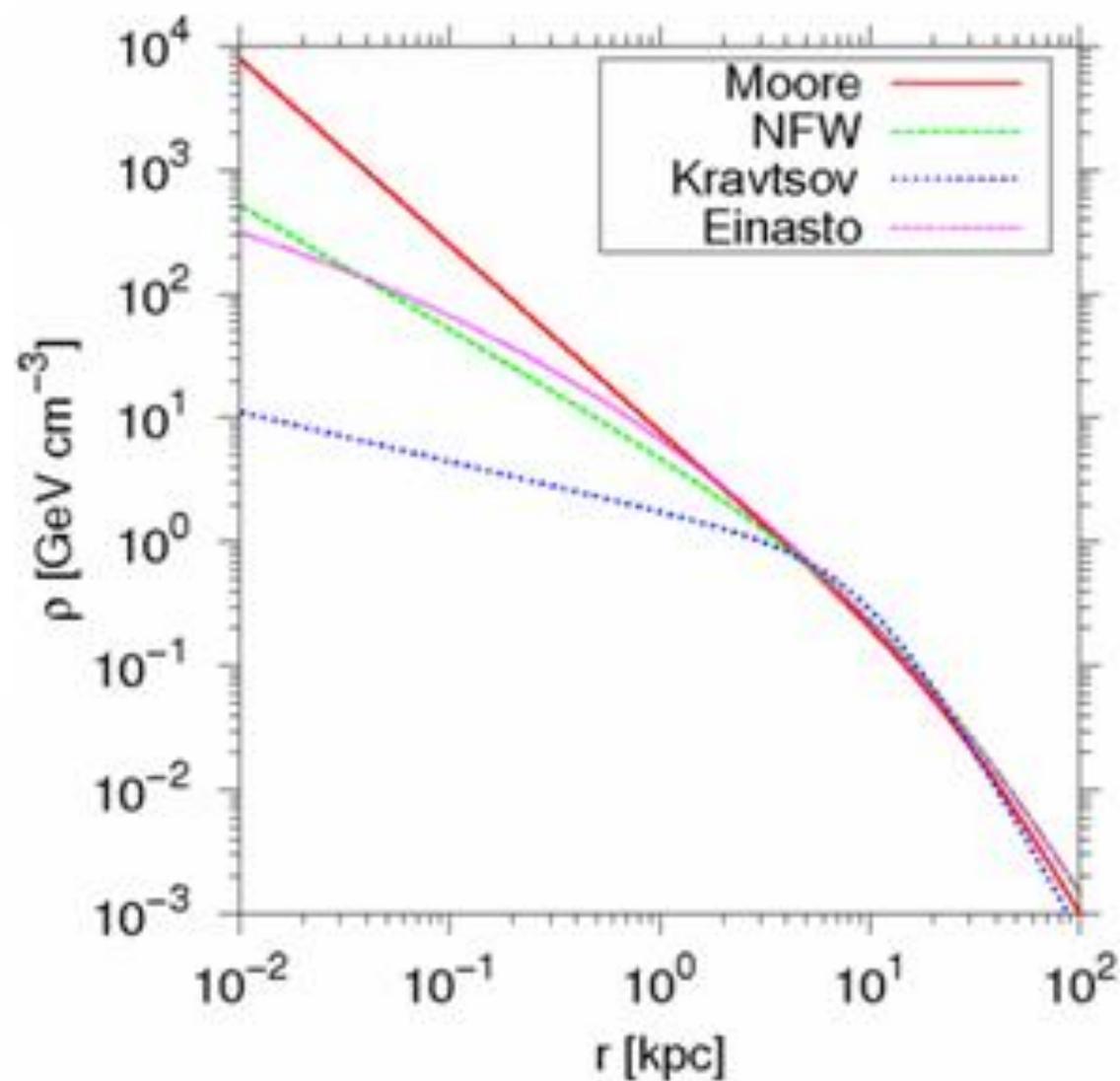
# Поиск гамма-излучения от частиц темной материи

**По данным базы данных Web of Science за последние 5 лет опубликовано 1412 работ, связанных с поиском гамма-излучения от частиц темной материи**

Согласно современным представлениям частицы холодной темной материи образуют сфероидальные распределения плотности имеющие сингулярность в центре. Этот факт, на мой взгляд, важен при детектировании возможных излучений связанных с аннигиляцией темной материи. Действительно, темп аннигиляции пропорционален квадрату плотности вещества, поэтому центр распределения будет светиться особенно ярко. **Естественным центром распределения гало темной материи является Галактический центр. Поэтому поиск аннигиляционной линии от центра нашей Галактики является важной научной задачей.**

**К.П. Зыбин, член-корреспондент РАН, руководитель ОТФ ФИАН**

## Распределение «тёмной» материи в Галактике



arXiv:0912.5183

# **Основные результаты исследований по проблеме природы темной материи**

**1. Прямые методы поиска WIMP на LHC не дали однозначных результатов.** На некоторых подземных установках получены указания на существование WIMP с массой 10-50 ГэВ.

**2. Результаты экспериментов по измерению потоков космических электронов и позитронов PAMELA, ATIC, Fermi-LAT, AMS-2 допускают интерпретацию как регистрация аннигиляции или распада WIMP-частиц с массой порядка сотен ГэВ.**

Поиск следов WIMP в космическом гамма-излучении может дать более определенный результат, однако пока положительных результатов нет.

**В значительной степени это определяется недостаточным угловым и энергетическим разрешением аппаратуры.**

**«ГАММА-400» имеет энергетическое разрешений на порядок лучше, чем Fermi-LAT, что обеспечивает значительно большую чувствительность к гамма-линии.**

Несмотря на уникальные возможности гамма-телескопов, работавших и работающих в последнее десятилетие, многие задачи астрофизики остались нерешенными. В этой связи представляется, что решение этих проблем могло бы быть осуществлено с помощью телескопа ГАММА-400. Среди прочих можно отметить следующие проблемы.

**Исследование гамма-излучения из оболочек сверхновых звезд.**

**Гамма излучение из скоплений галактик.**

**Анализ проникновения космических лучей в молекулярные облака.**

**Анализ распределения гамма-излучения в Галактическом центре.**

В центре Галактики наблюдается интенсивный источник гамма излучения в области  $0.2 \times 0.2$  градуса. Предполагается что это излучения обусловлено потоком протонов от центральной черной дыры, которые генерируют в окружающем дыру облаке молекулярного газа гамма фотоны за счет протон-протонных столкновений. Размер облака всего 3-5 пк, и он не может быть разрешен телескопами Ферми. С другой стороны, в области  $0.2 \times 0.2$  градуса имеются и другие потенциальные источники космических лучей, например оболочка сверхновой.

**В.А. Догель, г.н.с., профессор, д.ф.-м.н.**

**Еще одним важнейшим направлением, где угловое разрешение телескопа ГАММА-400 могло бы найти свое применение, является исследование радиопульсаров.** В настоящее время обсерватория Fermi обнаружила гамма-излучение более чем от 100 радиопульсаров с энергиями вплоть до 10-50 ГэВ. **Точная локализация источника, особенно для молодых пульсаров, находящихся в плерионах, позволит получить важнейшую информацию об эволюции нейтронных звезд и динамике остатков сверхновых.** Кроме того, поляризация гамма излучения позволит получить решающую информацию о механизме генерации. Сами плерионы также представляют несомненный интерес в связи с проблемой ускорения космических лучей. Точное картирование и привязка к структуре остатка сверхновой, наблюдаемой в других диапазонах энергий, будет чрезвычайно полезным. Прежде всего, это касается источников MSH 15-52, HESS J0835-456 (Vela X), PSR1259-63, HESS J 825 (PSR J1826-1334).

**В.С. Бескин, в.н.с., профессор, д.ф.-м.н.**

# Программа наблюдений

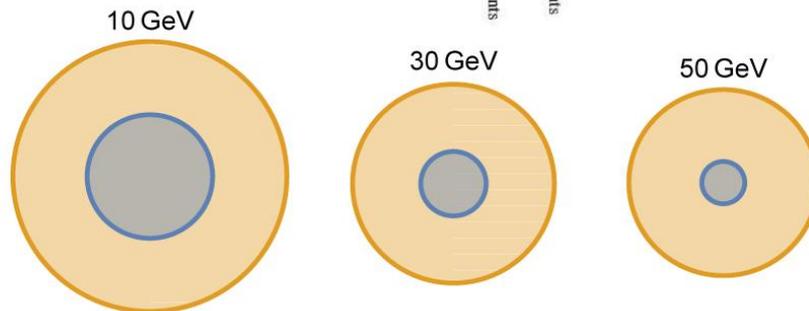
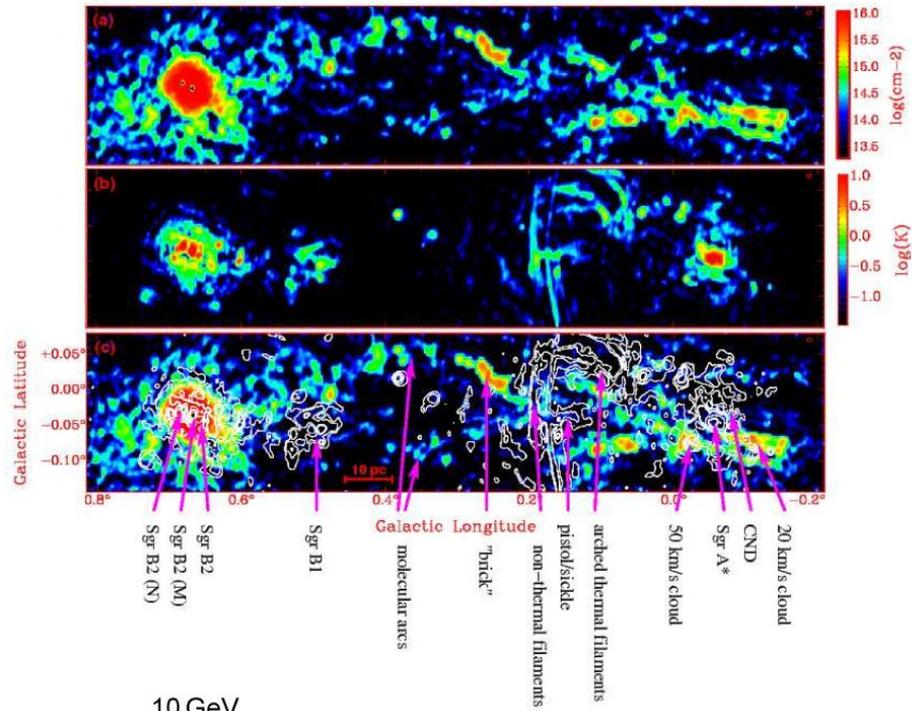
- 1. Наблюдение области «Крабовидная туманность»**
- 2. Наблюдение центра Галактики ( $b \leq \pm 1^\circ, l \leq \pm 1^\circ$ ) и центральной области Галактики ( $b \leq \pm 15^\circ, l \leq \pm 15^\circ$ )**
- 3. Поиск следов аннигиляции и распада частиц темной материи (вимпов) в потоках высокоэнергичного гамма-излучения и в потоках электронов и позитронов высоких энергий. Поиск аномалий в энергетических спектрах исследуемых потоков.**
- 4. Регистрация потоков высокоэнергичных электронов и позитронов**
- 5. Наблюдение области созвездия Cygnus**
- 6. Наблюдение области пульсара VELA**
- 7. Наблюдение солнечной активности**

# Центр Галактики область 1x1 град

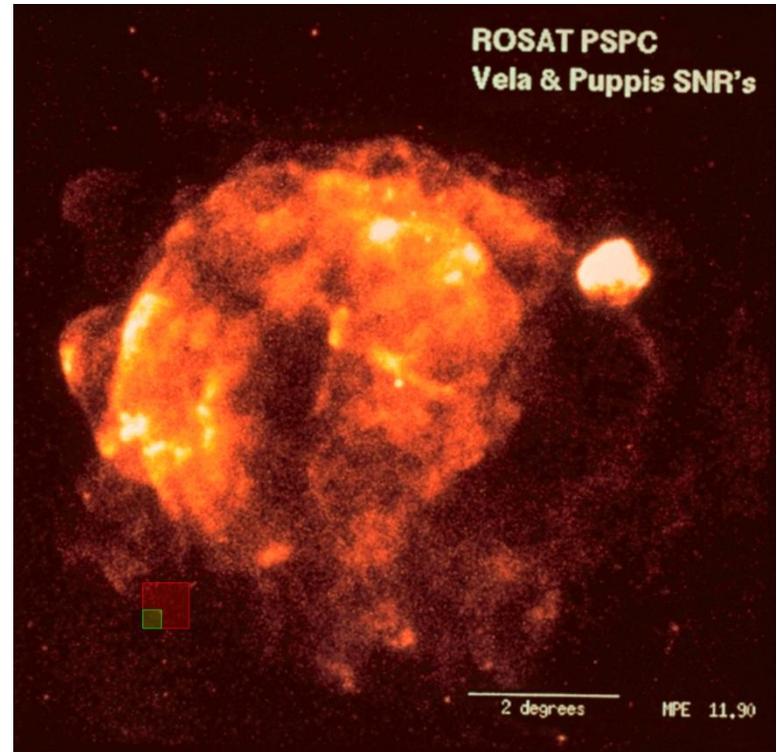
(по данным каталога Fermi 3FGL)

	<b>0,3-1 ГэВ</b>	<b>1-3 ГэВ</b>	<b>3-10 ГэВ</b>	<b>10-100 ГэВ</b>
3FGL J1745.6-2859c	10442	1943	671	126
3FGL J1746.3-2851c	5723	2820	591	58
3FGL J1745.3-2903c	12209	4017	650	39
3FGL J1748.3-2815c	571	582	363	34
3FGL J1747.2-2958	10604	2269	363	18
3FGL J1747.7-2904	4032	763	133	12
3FGL J1749.2-2911	1865	706	111	10
3FGL J1747.0-2828	9519	2026	274	8
Диффузное излучение	55 124	15 157	3 413	609
	<b>110090</b>	<b>30282</b>	<b>6570</b>	<b>913</b>

# Центр галактики в радио-диапазоне

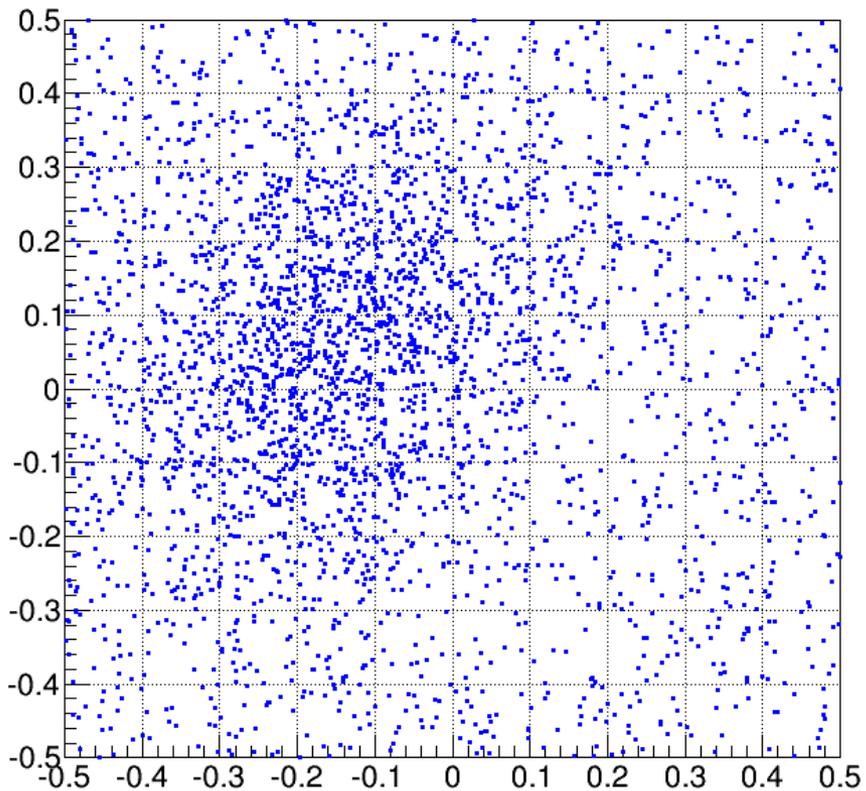


# Структура источника

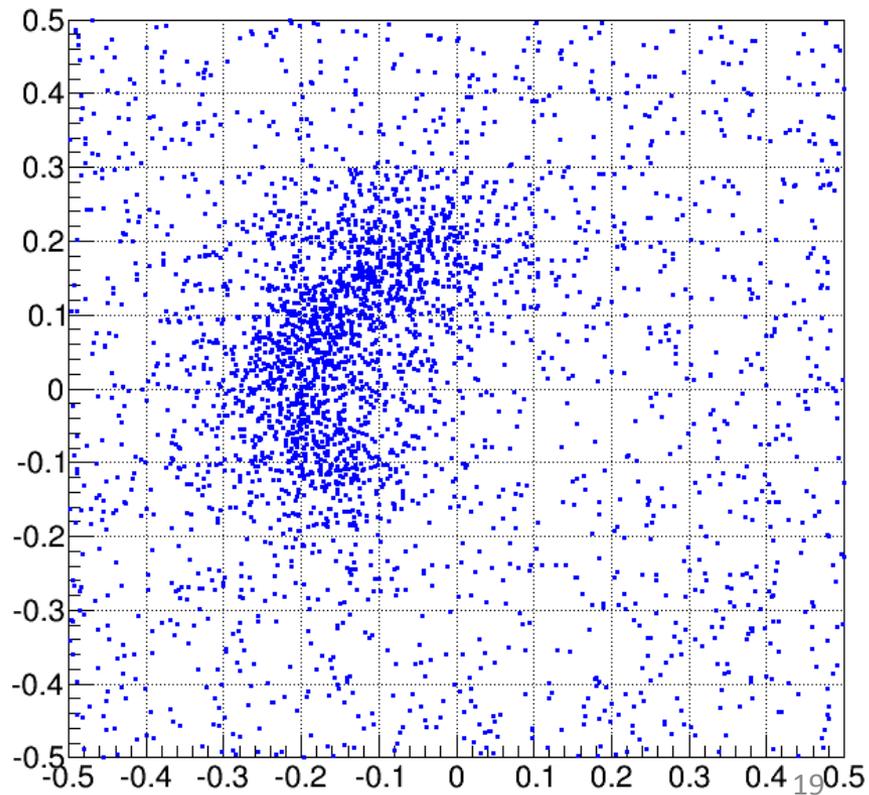


# ИСТОЧНИК

FERMI > 3.0 GeV

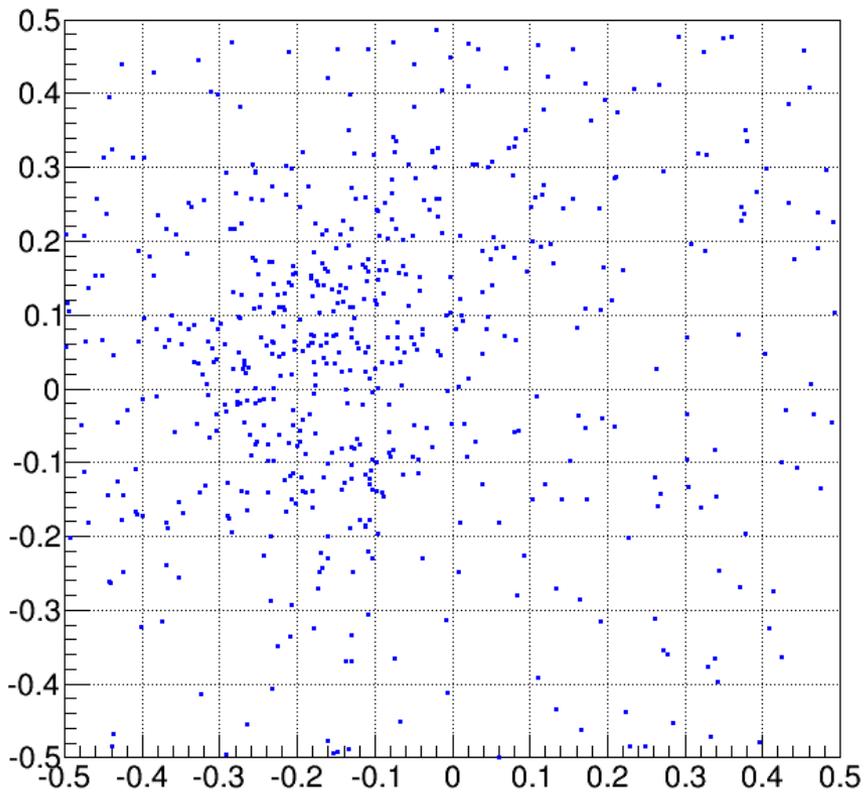


GAMMA-400 > 3.0 GeV

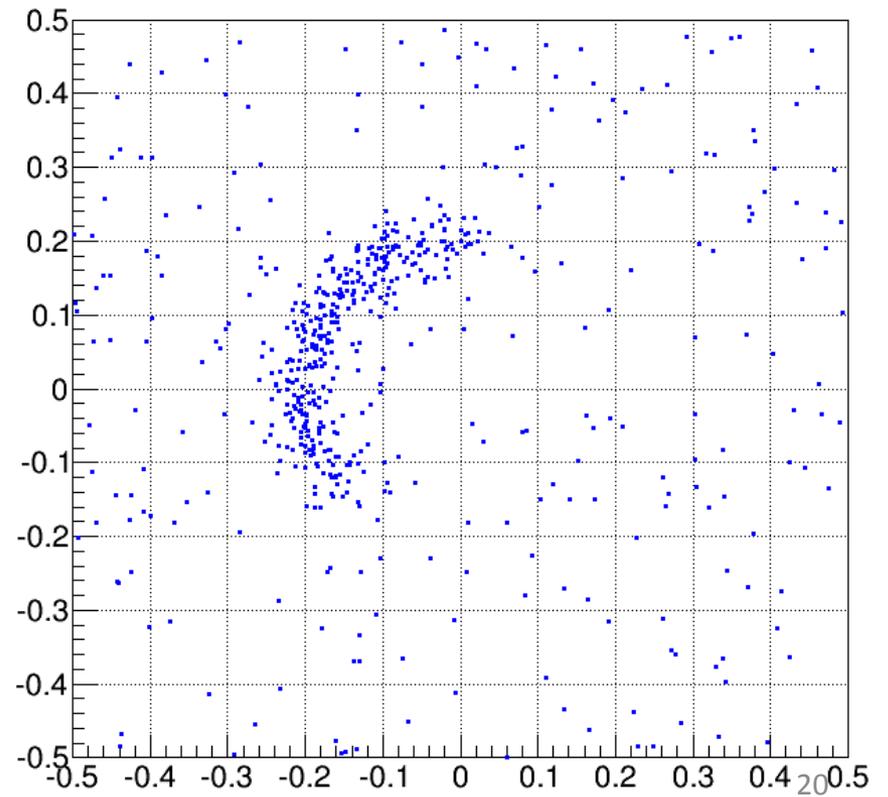


# ИСТОЧНИК

FERMI > 10.0 GeV

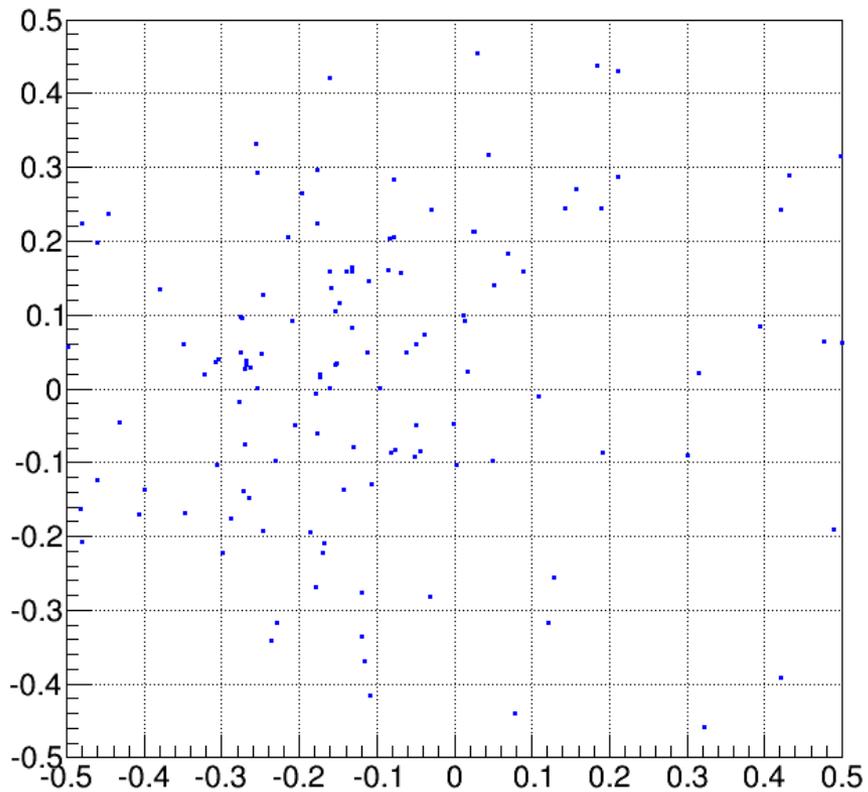


GAMMA-400 > 10.0 GeV

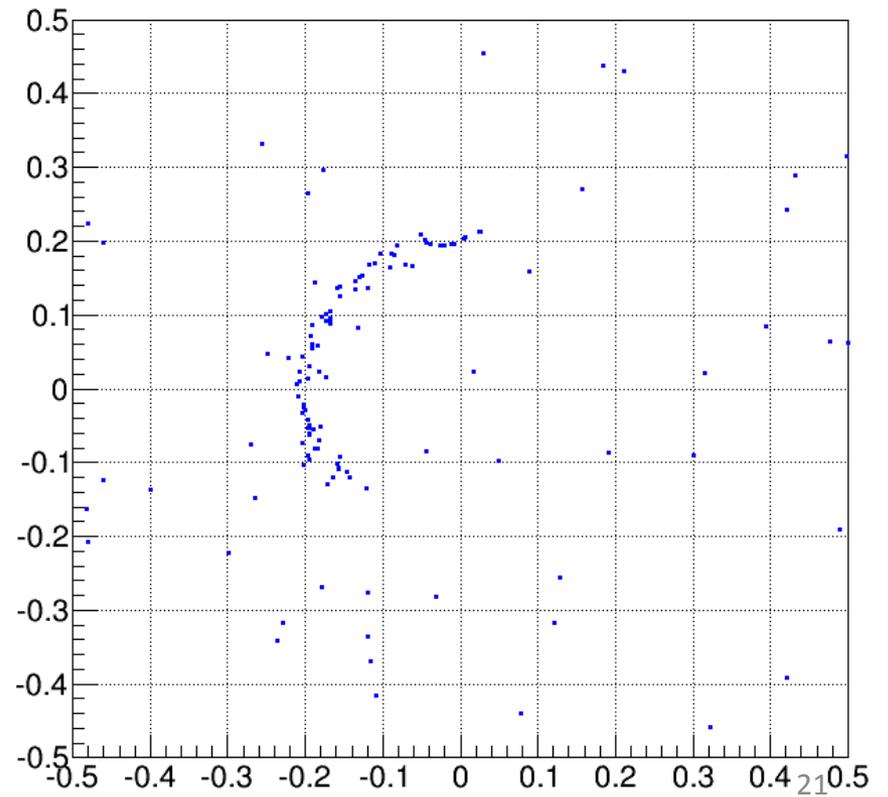


# ИСТОЧНИК

FERMI > 30.0 GeV

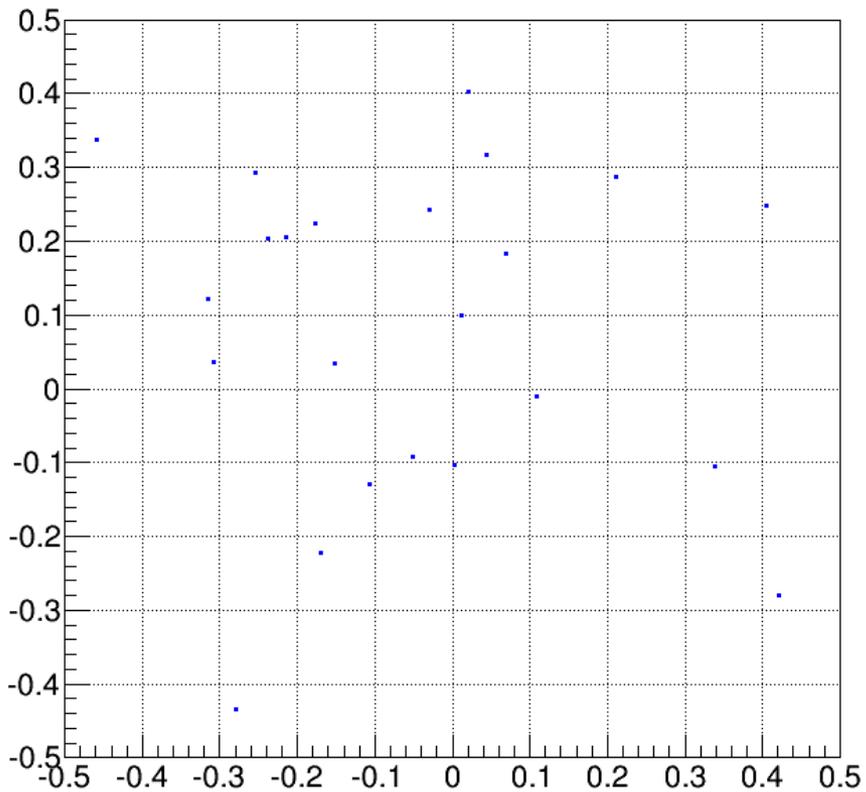


GAMMA-400 > 30.0 GeV

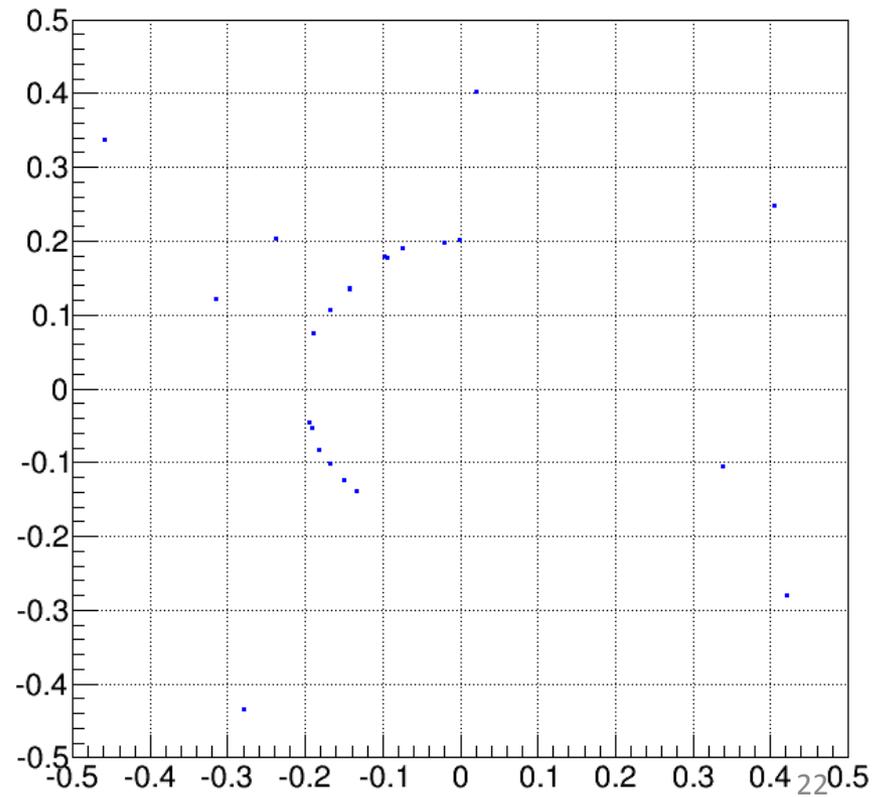


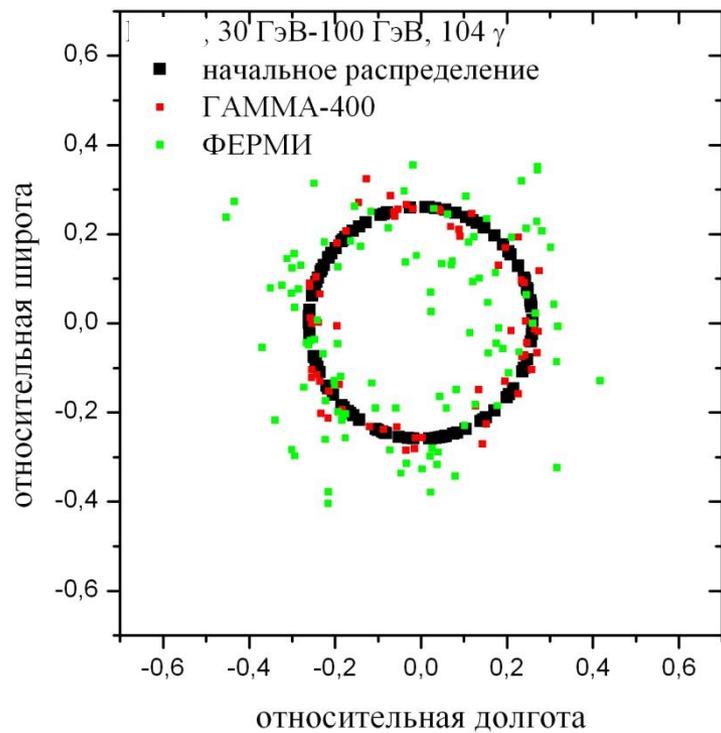
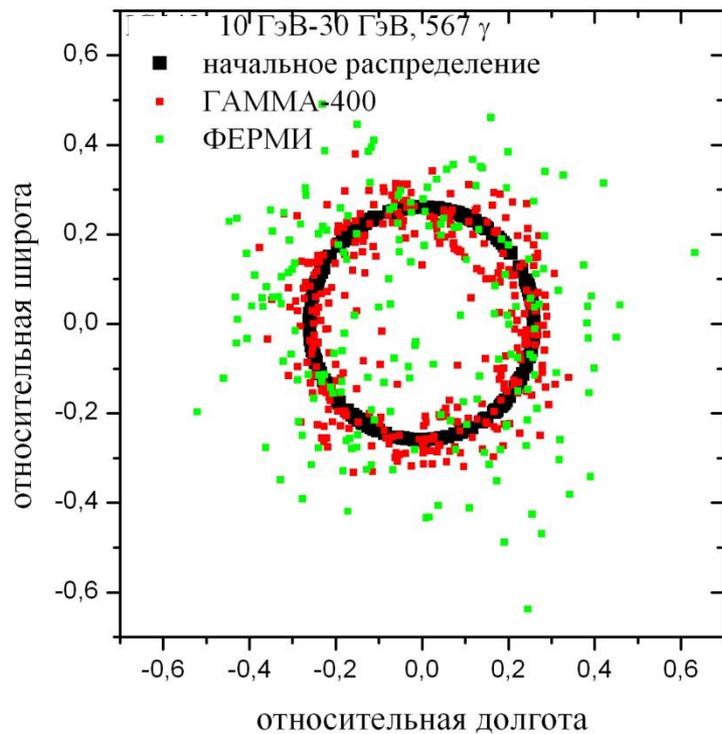
# ИСТОЧНИК

FERMI >100.0 GeV

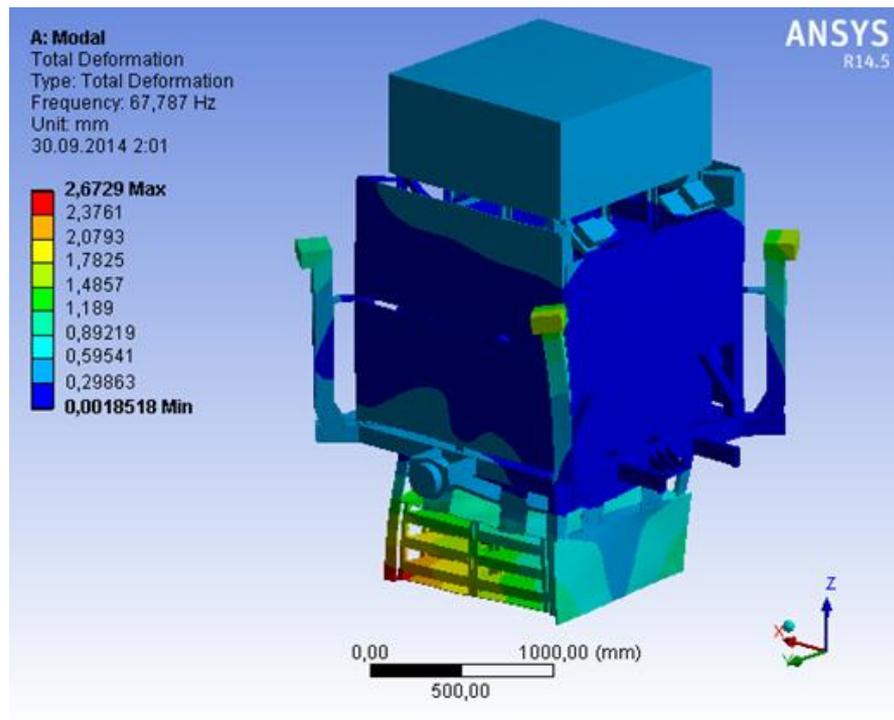


GAMMA-400 >100.0 GeV





На этапе ТП проведены:  
динамический расчет конструкции (на рисунке),  
тепловой расчет,  
расчет надежности КНА «ГАММА-400»



**УКРУПНЕННЫЙ СЕТЕВОЙ ПЛАН-ГРАФИК СОЗДАНИЯ КНА «ГАММА-400»,  
согласованный с соисполнителями и НПОЛ**

№ п/п	Наименование основных работ	Исполнители	Дата (начало и окончание) по контракту (ТГЗ, ТЗ)/ фактически		Объем работ											
					В том числе по годам											
					2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024-2030		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	Разработка РКД, КНА	ФИАИ, МИФИ, ФТИ, НИИСИ, НИИЭМ	01.2016	12.2017		→										
2	Разработка и изготовление макетов КНА, АИ, поставка в НПОЛ (12.2017)	ФИАИ, МИФИ, ФТИ, НИИСИ, НИИЭМ	01.2016	12.2017		→										
3	Разработка и изготовление ГО КНА, АИ, калибровка на ускорителе (02.2019), Поставка в НПОЛ (03.2022)	ФИАИ, МИФИ, INFN (Италия), ФТИ, НИИСИ, НИИЭМ, ЛЦ ИКИ (Украина)	07.2016	12.2022			→									
4	Разработка ПО для ЦОНИ	ФИАИ, МИФИ	01.2016	06.2021		→										
5	Разработка и изготовление ЛО КНА, АИ, калибровка на ускорителе (02.2020), Поставка в НПОЛ (12.2022)	ФИАИ, МИФИ, INFN (Италия), ФТИ, НИИСИ, НИИЭМ, ЛЦ ИКИ (Украина)	01.2017	12.2022			→									
6	Монтаж ЦОНИ, АИ, КИ	ФИАИ, МИФИ	01.2017	12.2023			→									
7	КИ в НПОЛ, поставка на ТК. Запуск ЛО (12.2023)	ФИАИ, МИФИ, INFN, ФТИ, НИИСИ, НИИЭМу	01.2023	12.2023									→		γ	

ЭП – 2009-2010 гг., ДЭП – 2011-2012 гг., ТП – 2013-2015 гг.

# Сравнительная таблица научных задач и характеристик различных экспериментов по исследованию гамма-излучения и космических лучей

№		<b>ГАММА-400</b>	<b>Fermi-LAT</b>	<b>AMS-02</b>	CALET	DAMPE	ISS-CREAM	<b>НУКЛОИ</b>
1	Страна	Россия	США	США	Япония	Китай	США	Россия
2	Научные задачи	<b>ТМ(<math>\gamma</math>, <math>e^\pm</math>)</b> $\gamma$ : дискр. изл. диффуз. изл. всплески КЛ	$\gamma$ : дискр. изл. диффуз. изл. всплески КЛ	КЛ $\gamma$ : диффуз. изл.	<b>ТМ(<math>\gamma</math>, <math>e^\pm</math>)</b> КЛ $\gamma$ : диффуз. изл. всплески	<b>ТМ(<math>\gamma</math>, <math>e^\pm</math>)</b> КЛ $\gamma$ : диффуз. изл.	КЛ	КЛ
3	Орбита	высоко-эллиптическая (без затенения Земли и вне рад. поясов)	околоземная круговая	околоземная круговая МКС	околоземная круговая МКС	околоземная круговая	околоземная круговая МКС	околоземная круговая
4	Эфф. площадь, $см^2$	4000	4500 (front)	2000	1000	1800	2500	1300
5	Геом. фактор, $м^2ср$	1.4	2.7	0.1	0.12	0.36	0.2	0.1-0.25
6	Макс. поле зрения	$\pm 60^\circ$	$\pm 80^\circ$	$\pm 50^\circ$	$\pm 45^\circ$	$\pm 50^\circ$	$\pm 45^\circ$	$\pm 45^\circ$
6	Энерг. диап. $\gamma$ , ГэВ $e$ , ГэВ ядра, эВ	<b>0.1-3000</b> 1-20000 до $10^{16}$	<b>0.1-300</b> 20-1000 -	<b>0.1-1000</b> 0.1-1000 -	<b>10-10000</b> 1-20000 до $5 \times 10^{14}$	<b>5-10000</b> 5-10000 до $10^{14}$	- - до $10^{15}$	- - до $10^{15}$
7	Калориметр толщина $X_0$	<b>25</b>	8.6	17	<b>27</b>	<b>31</b>	20	15
8	Угл. разр., град (>100 ГэВ)	<b>0.015</b>	0.1	0.3	0.15	0.1	-	-
9	Энерг. разр., (>100 ГэВ)	<b>1.5%</b>	10%	3%	<b>2%</b>	<b>1.5%</b>	45% (ядра)	10%
10	Режекция $e/p$	<b><math>5 \times 10^5</math></b>	$10^3$	$10^5$	$10^5$	$10^5$	?	$10^4$

# Заключение

- Проект «ГАММА-400» представляет уникальную возможность провести измерения потоков гамма-излучения, электронов + позитронов, ядер с непревзойденной точностью с использованием новых технологий.
- Научные задачи проекта: исследования гамма-излучения в диапазоне высоких энергий и получение данных для определения природы «темной материи» во Вселенной, развития теории происхождения высокоэнергичных космических лучей и физики элементарных частиц предложены и поддержаны учеными советами Отделения ядерной физики и астрофизики и Отделения теоретической физики ФИАН, Проблемным советом по астрофизике и космическим исследованиям ФТИ им. Иоффе.

В научной литературе за последние 5 лет опубликовано около 70 работ со ссылками на эксперимент «ГАММА-400»

GAMMA-400 will deliver a gamma-ray line sensitivity that is better than the current HESS-II limits at energies below  $\sim 500$  GeV. **CTA will of course further improve on that at higher energies, but I think GAMMA-400 will be the best instrument in the energy range  $\sim 10$  -  $\sim 100$  GeV, even after CTA.** However, the CTA collaboration has not shown detailed results for line sensitivities yet (I have seen some preliminary plots, but they looked somewhat too optimistic), so take that with a grain of salt (October, 2014)

Dr. Christoph Weniger  
GRAPPA, University of Amsterdam  
Science Park 904, C4.171  
1098XH Amsterdam, NL

The sensitivity and the angular resolution achievable by the Silicon detectors' analog readout will be very good. At 100 MeV, we can estimate an effective area near  $1500-2000 \text{ cm}^2$ , and a 68% containment radius near 3 degrees. This expected performance, already realized in the AGILE instrument, will ensure a competitive sensitivity compared to Fermi-LAT, especially for prolonged (weeks, months) pointings. **I find the opportunities of GAMMA-400 for gamma-ray detection very important in the context of the high-energy astrophysics of the next decade.**

Prof. Marco Tavani, PI AGILE  
Istituto Nazionale di Astrofisica – IASF and  
Physics Department of University of Rome  
“Tor Vergata”, Via della Ricerca Scientifica 1,  
I-00133 Rome, Italy