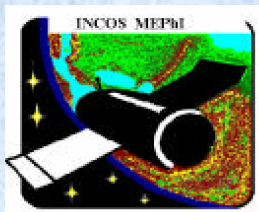


# Международный проект ГАЛА

Мониторинг астрофизических источников  
высокоэнергичного гамма-излучения

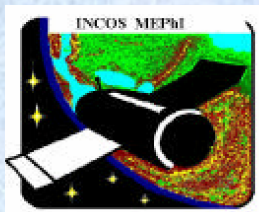


## Аннотация

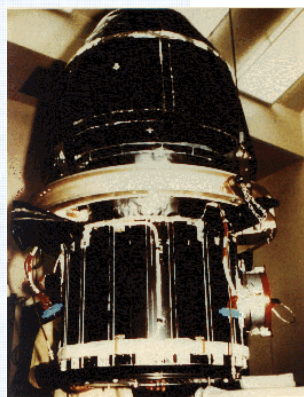
К настоящему времени открыто несколько сотен дискретных астрофизических источников высокоэнергичного гамма-излучения, большая часть из которых остаются неотожествленными.

Учитывая, что гамма-излучение присуще, в основном, активным переменным объектам, постоянный мониторинг небесной сферы с достаточно высоким угловым и временным разрешением позволит не только идентифицировать ряд неотожествленных источников, но и обнаружить новые источники.

Для проведения мониторинга предполагается создать широкоапертурный гамма-телескоп ГАПА с высоким угловым разрешением в диапазоне 10-100 МэВ и установить его в качестве дополнительной научной нагрузки на серийный ИСЗ Метеор-М, имеющий околоземную орбиту.

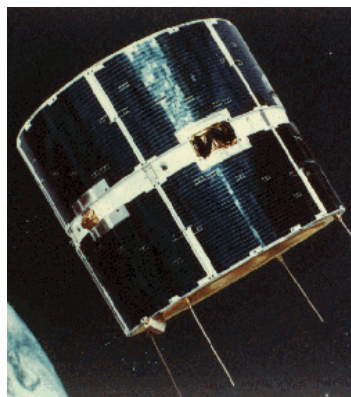


# Выполненные эксперименты



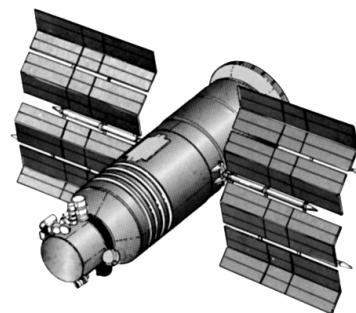
## SAS-2

11.72 – 06.73  
 20 МэВ – 1 ГэВ  
 $A_{eff}=540 \text{ см}^2$



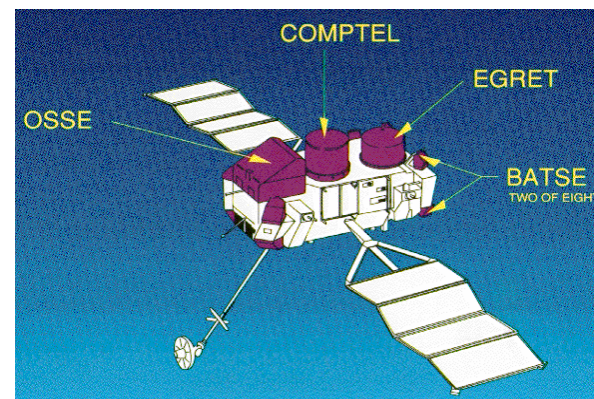
## COS-B

08.75 – 04.82  
 30 МэВ – 5 ГэВ  
 $A_{eff}=50 \text{ см}^2$



## Гамма-1

07.90 – 02.92  
 30 МэВ–5 ГэВ  
 $A_{eff}=200 \text{ см}^2$

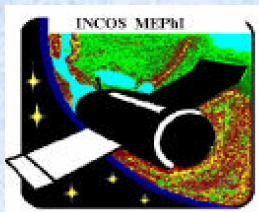


## EGRET

(CGRO)  
 04.91-06.98  
 30 МэВ-30 ГэВ  
 $A_{eff}=1500 \text{ см}^2$

## COMPTEL

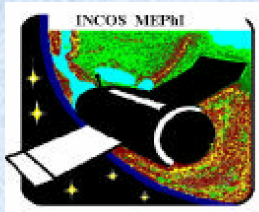
(CGRO)  
 04.91-06.2000  
 0.8 – 30 МэВ  
 $A_{eff}=20-50 \text{ см}^2$



## Основные результаты наблюдений

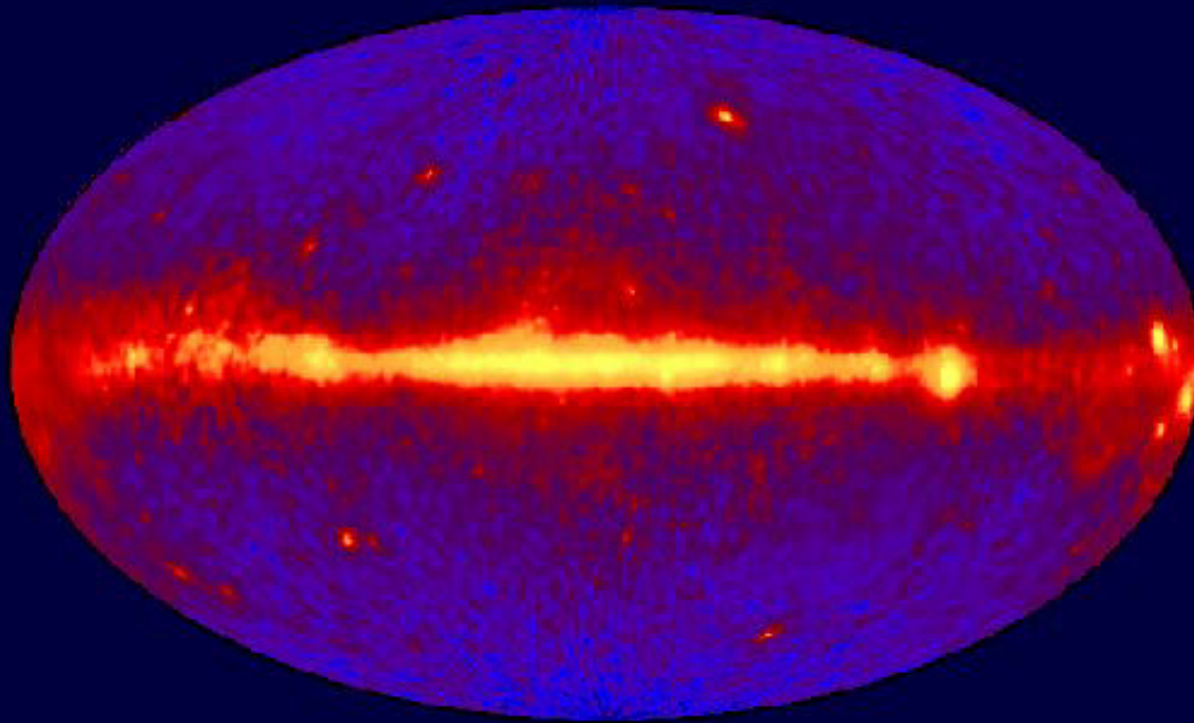
- ☉ Зарегистрировано около двухсот неидентифицированных дискретных источников высокоэнергичного  $\gamma$ -излучения.
- ☉ Обнаружена сложная временная структура высокоэнергичного гамма-излучения от шести радио пульсаров и Геминги, являющейся радио спокойным пульсаром.
- ☉ Открыто интенсивное, сильно меняющееся во времени высокоэнергичное гамма-излучение от более 70 блазаров.
- ☉ Обнаружена пространственная и спектральная однородность внегалактического фона.
- ☉ Получена карта диффузного галактического  $\gamma$ -излучения.
- ☉ Зарегистрировано высокоэнергичное  $\gamma$ -излучение от гамма-всплесков.
- ☉ Открыто вспышечное высокоэнергичное  $\gamma$ -излучение Солнца до энергии больше нескольких ГэВ.

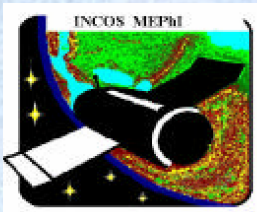




# Небесная сфера в $\gamma$ -диапазоне

EGRET All-Sky Gamma-Ray Survey Above 100 MeV

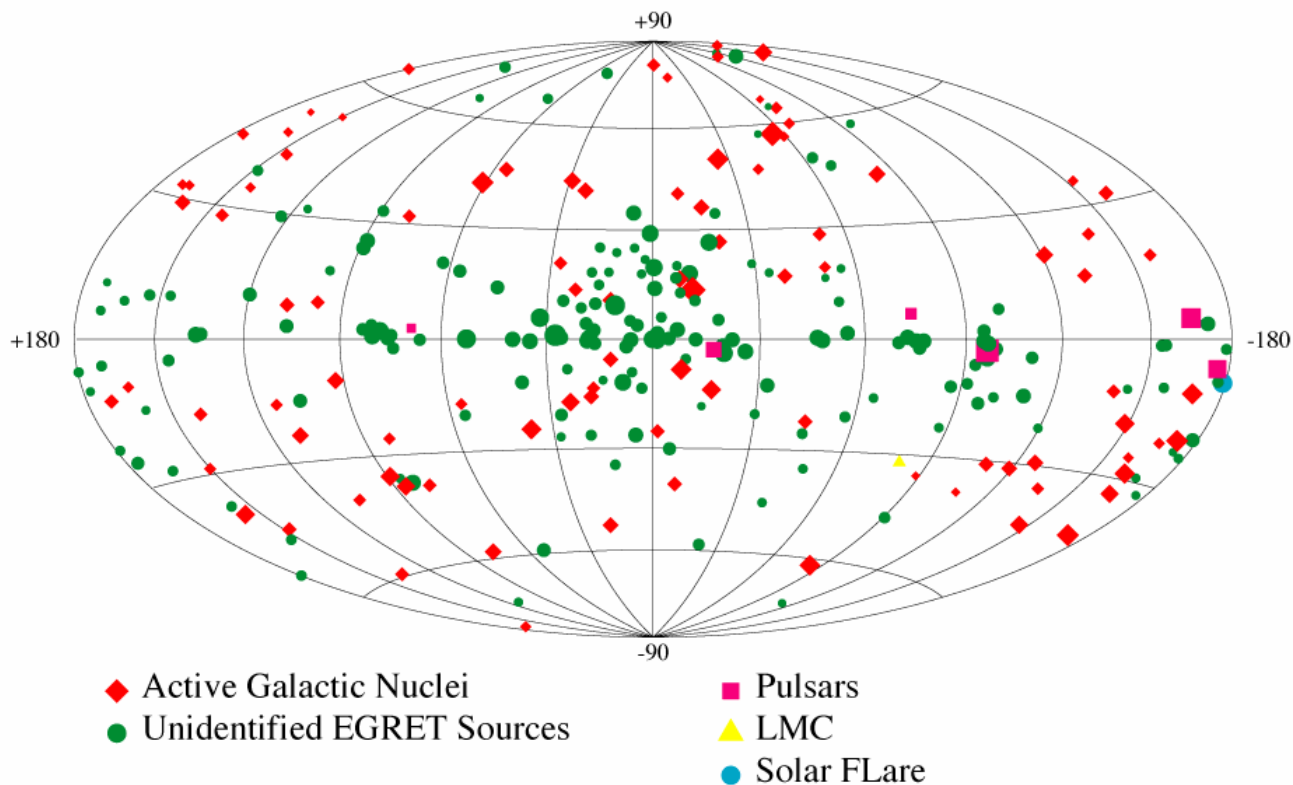


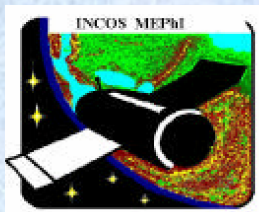


# Дискретные $\gamma$ -источники из 3-го каталога EGRET

## Third EGRET Catalog

$E > 100 \text{ MeV}$

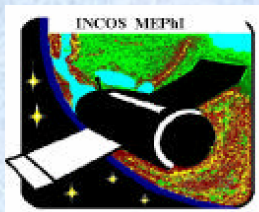




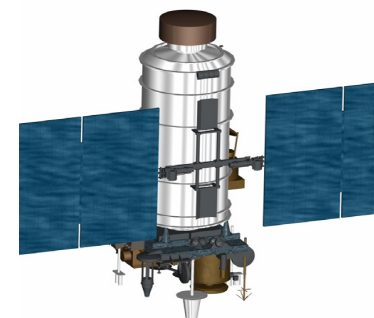
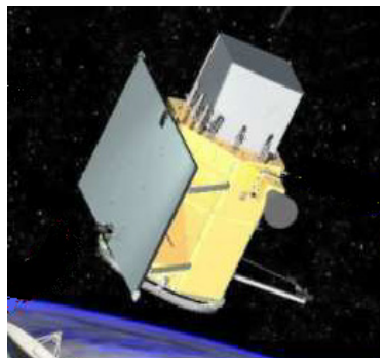
# Нерешенные проблемы гамма астрономии

- ④ Какова природа обнаруженных неидентифицированных источников высокоэнергичного  $\gamma$ -излучения? Существуют ли другие неизвестные еще астрофизические источники нетеплового высокоэнергичного излучения, в частности с показателем спектра излучения более 2?
- ④ Как зависят физические процессы (ускорение частиц, излучение) от геометрии пульсаров?
- ④ Как формируются струи блазаров и как в них могут ускоряться частицы до высоких энергий за малые промежутки времени? Какая может быть длительность процессов ускорения?
- ④ Какой вклад в поток изотропного внегалактического высокоэнергичного гамма-излучения могут давать дискретные источники?
- ④ Какова природа темной материи в нашей Галактике?
- ④ Какие процессы обеспечивают такие большие передачи энергии в источниках гамма всплесков?
- ④ Как происходит генерация высокоэнергичного  $\gamma$ -излучения на Солнце?





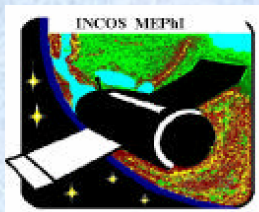
# Проекты будущего



Характеристики	AGILE	GLAST	ГАЛА
Начало наблюдений	2006 г.	2007 г.	2010 г.
Энергетический диапазон	30 МэВ – 50 ГэВ	30 МэВ – 300 ГэВ	>10 МэВ
Эффективная площадь	700 см <sup>2</sup>	>8000 см <sup>2</sup>	200 см <sup>2</sup> (~1000 см <sup>2</sup> )*
Апертура	~3 ср	2 ср	3 ср
Угловое разрешение	4.7° (100 МэВ)	3.5° (100 МэВ)	1.6° (100 МэВ)
Энерг. Разрешение	50% (100 МэВ)	10% (100 МэВ)	~30% (10-100 МэВ)

\* - при модификации прибора





# Научные цели проекта ГАЛА

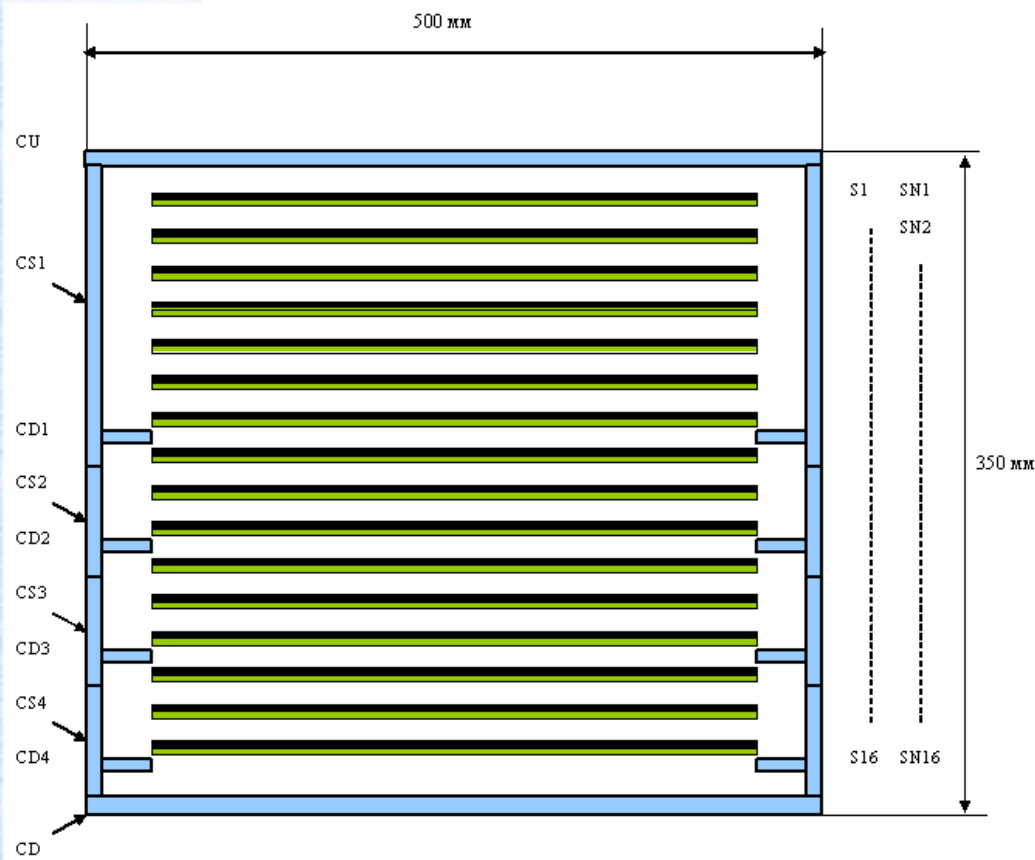
Основная задача проекта ГАЛА заключается в продолжительном, в течение нескольких лет, мониторинге небесной сферы с целью:

- ⊕ Выяснения природы неидентифицированных дискретных источников высокоэнергичного гамма-излучения; поиска новых гамма-транзиентов.
- ⊕ Исследования известных пульсаров высокоэнергичного гамма-излучения; поиска импульсного гамма-излучения от неидентифицированных источников.
- ⊕ Поиска высокоэнергичного гамма-излучения от галактических двойных систем и остатков сверхновых.
- ⊕ Изучения известных активных галактических ядер; поиска новых внегалактических источников высокоэнергичного гамма-излучения.
- ⊕ Исследования диффузного высокоэнергичного гамма-излучения.

Дополнительной задачей проекта ГАЛА является изучение изотопного состава потоков ядер от H до Fe в диапазоне энергий 20-200 МэВ/н в окрестности Земли.



# Физическая схема гамма-телескопа ГАЛА



## Системы телескопа:

### 1) Кремниевый трекер.

#### Назначение:

Конверсия  $\gamma$ -квантов и регистрация  $e^+e^-$  пар.

#### Состав:

16 детектирующих плоскостей  $400 \times 400$  мм. Расстояние между плоскостями – 20 мм. Каждая плоскость состоит из двух слоев. Первый слой – активный конвертор SN1-SN16 (два слоя односторонних стриповых детекторов толщиной 500 мкм, ширина стрипа 2.5 мм). Второй слой - кремниевый микростриповый двухсторонний (X, Y) детектор S1-S16 (толщина 300 мкм, ширина стрипа 250 мкм).

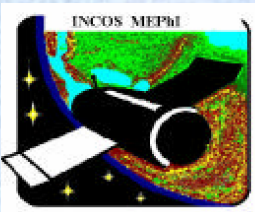
### 2) Система антисовпадений.

#### Назначение:

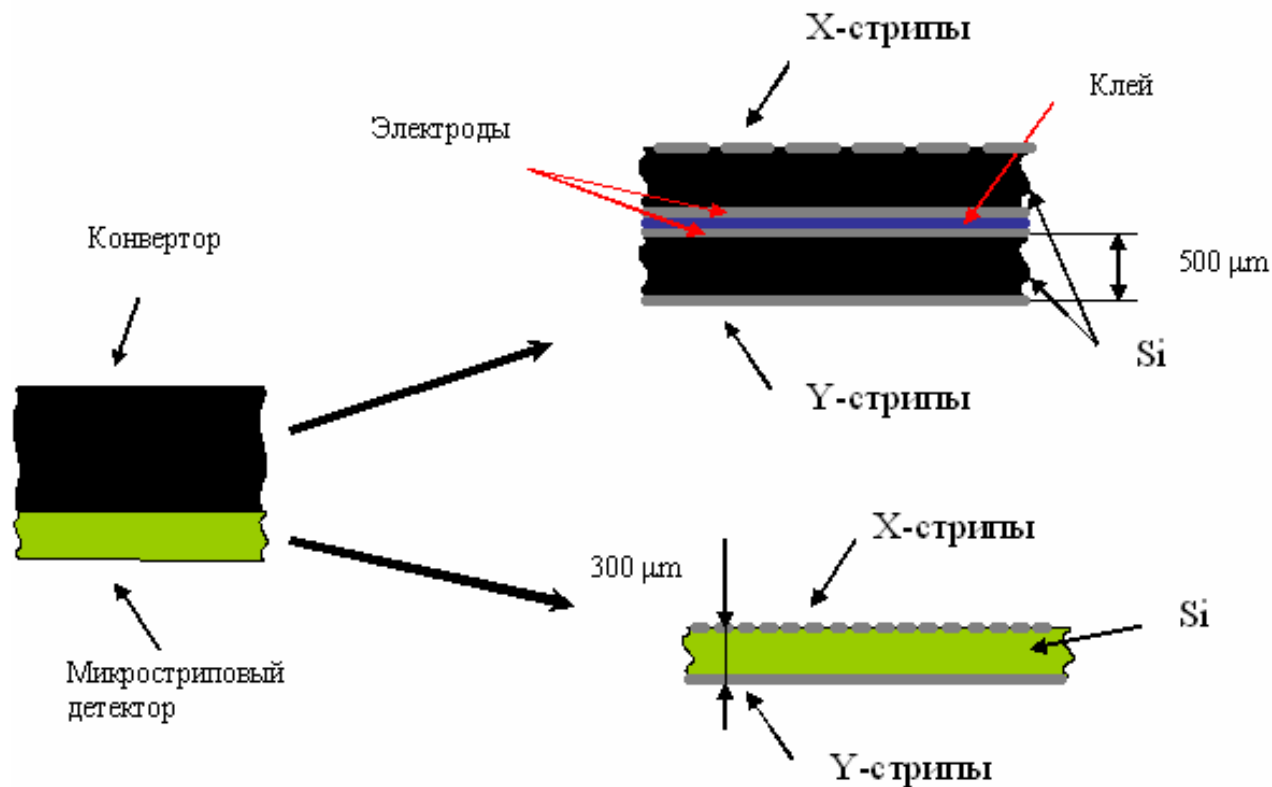
Режекция заряженных частиц КЛ.

#### Состав:

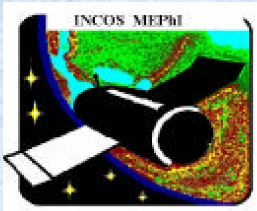
CU – детектор верхних антисовпадений  
CS1-CS4 – детекторы боковых антисовпадений  
CD1-CD4, CD – детекторы нижних антисовпадений



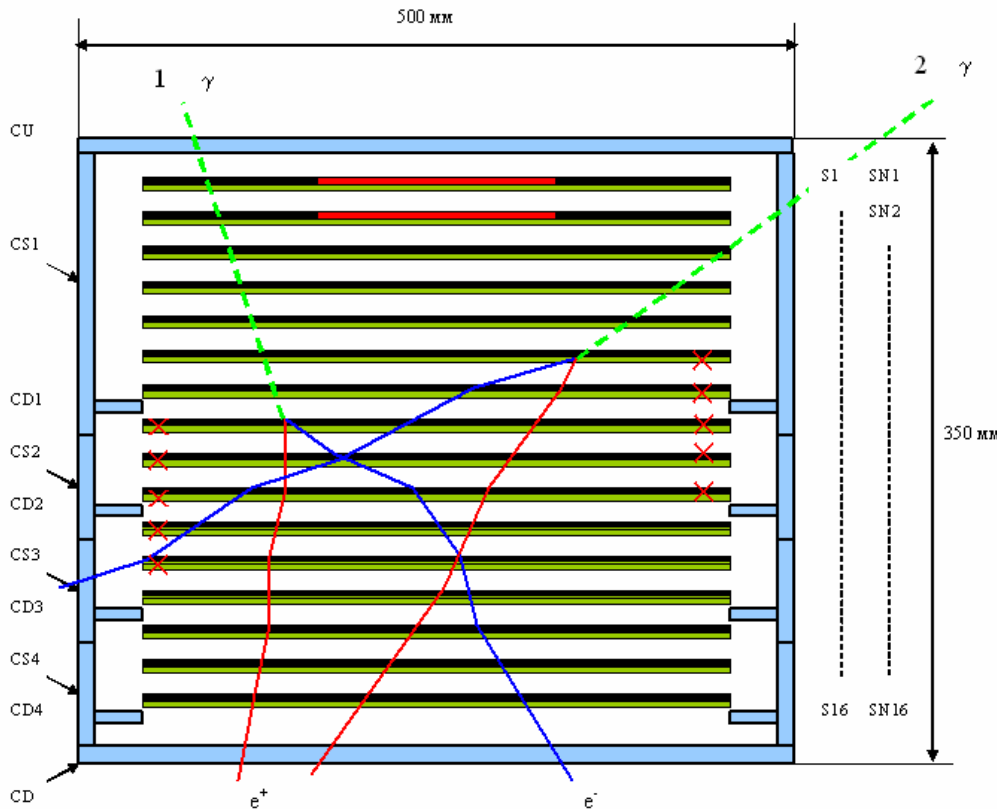
# Структура детектирующей плоскости







# Организация триггера



## Триггер для регистрации $\gamma$ -квантов:

$$M_\gamma = ANTI(CU) \times \sum_{k=1}^{12} M_k, \text{ где}$$

$$M_k (k = 1 \div 3) = \prod_{i=k}^{k+4} Si \times ANTI(CS1 + CD1)$$

$$M_k (k = 4 \div 6) = \prod_{i=k}^{k+4} Si \times ANTI\left(\sum_{i=1}^2 CSi + \sum_{i=1}^2 CDi\right)$$

$$M_k (k = 7 \div 9) = \prod_{i=k}^{k+4} Si \times ANTI\left(\sum_{i=1}^3 CSi + \sum_{i=1}^3 CDi\right)$$

$$M_k (k = 10 \div 12) = \prod_{i=k}^{k+4} Si \times ANTI\left(\sum_{i=1}^4 CSi + \sum_{i=1}^4 CDi\right)$$

## Триггер для регистрации ядер:

$$M_N = SNc1 \times SNc2 \times AC$$

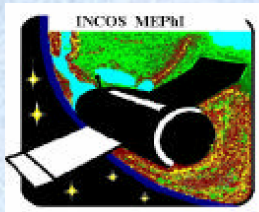
$$AC = ANTI\left(\sum_{i=1}^4 CSi + \sum_{i=1}^4 CDi + CD\right)$$



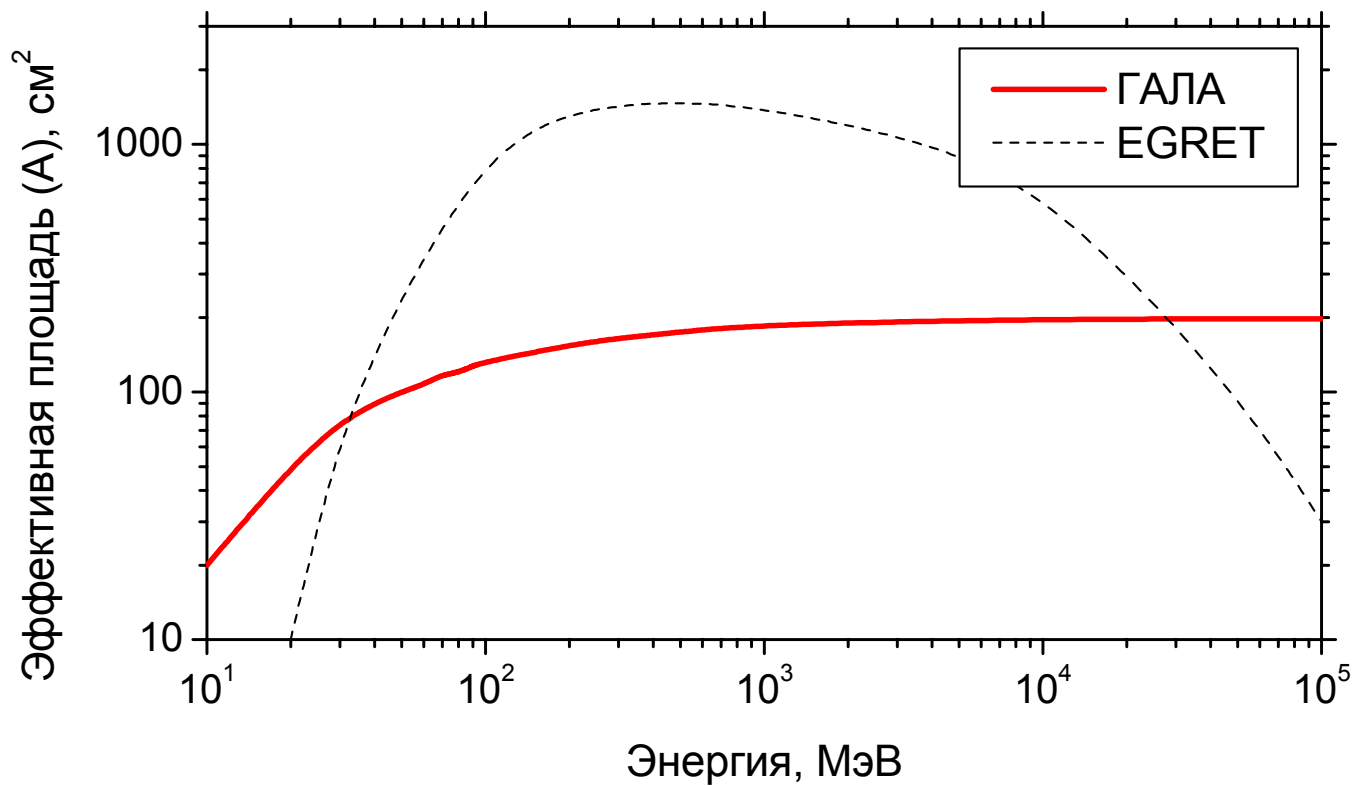
## Основные физические характеристики

Характеристики	EGRET	ГАЛА
Энергетический диапазон	30 МэВ - 30 ГэВ	>10 МэВ
Апертура	0.5 ср	3 ср
Угловое разрешение	~15° (30 МэВ) 5.5° (100 МэВ) 1.2° (1 ГэВ)	4.9° (30 МэВ) 1.6° (100 МэВ) 0.3° (1 ГэВ)
Чувствительная площадь	1500 см <sup>2</sup>	200 см <sup>2</sup> (~1000 см <sup>2</sup> )*
Энергетическое разрешение	10%	30% (10-100 МэВ)
Мертвое время	>100 мс	<1 мс

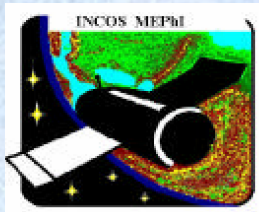
\* - при модификации прибора



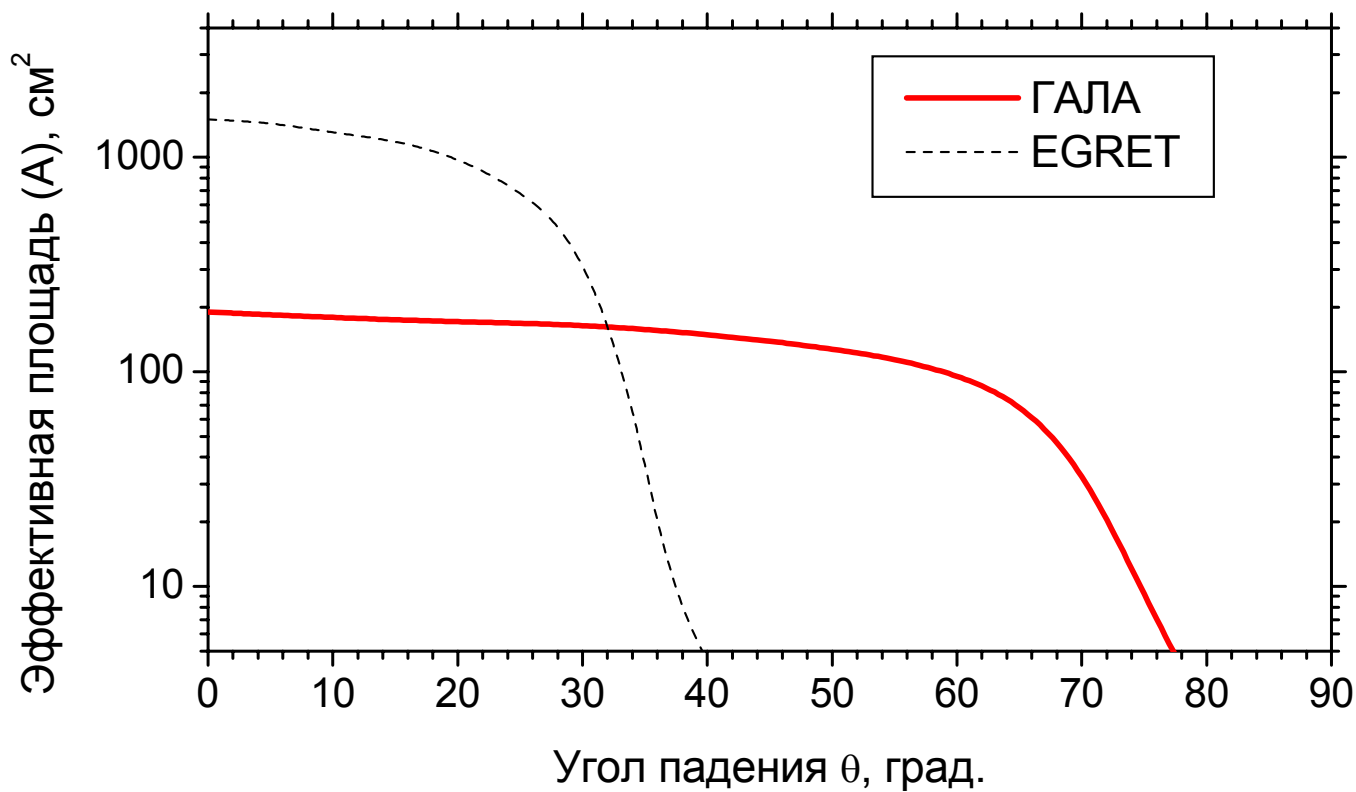
# Эффективная площадь

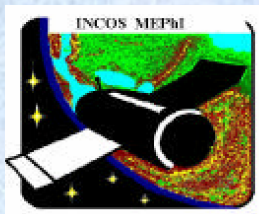




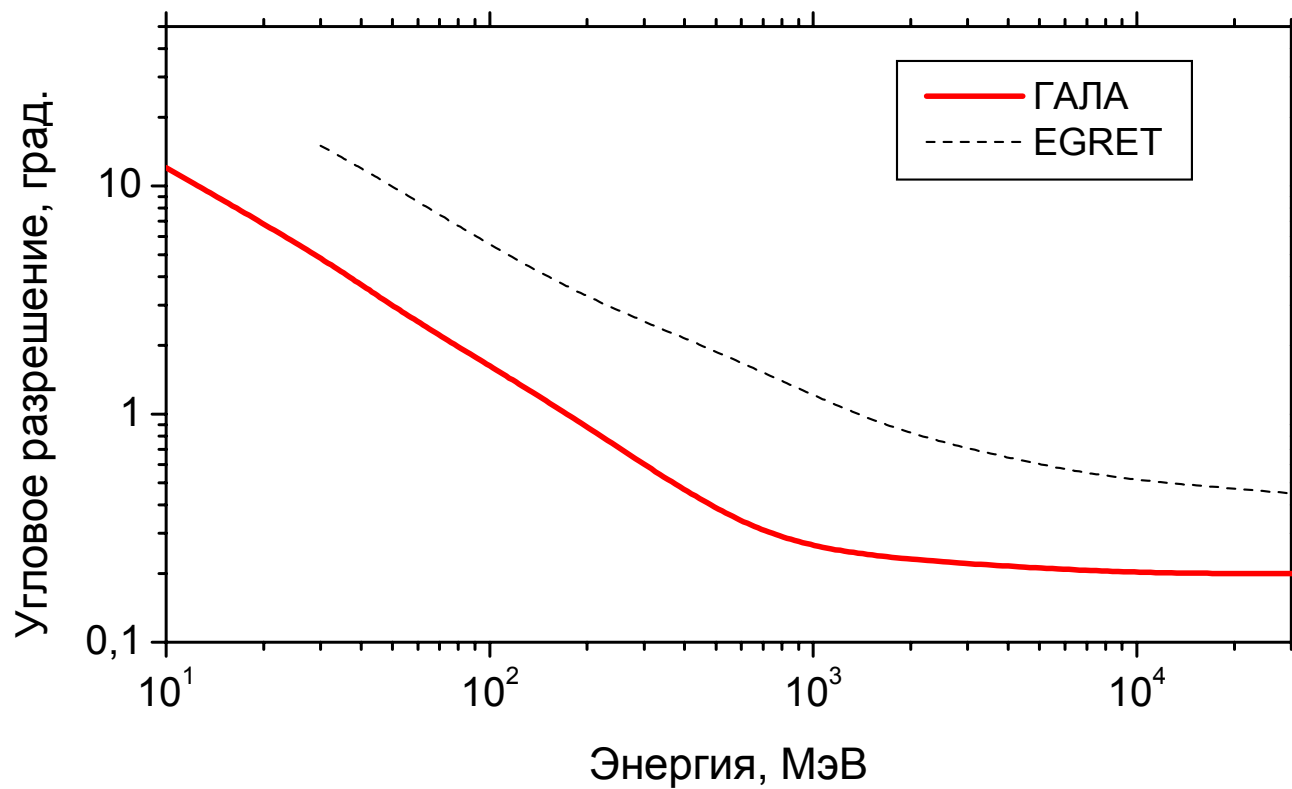


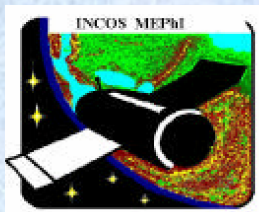
# Апертура





# Угловое разрешение

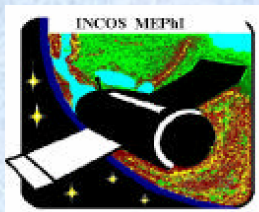




## Энергетическое разрешение

- ⓐ Предлагаемый телескоп позволяет измерять энергию регистрируемых гамма-квантов в диапазоне 10-100 МэВ с разрешением не хуже 30%.
- ⓐ Энергия гамма-квантов восстанавливается при помощи метода, основанного на связи энергий электрона и позитрона, образовавшихся при конверсии гамма-кванта, с их углами многократного рассеяния в веществе трекера.

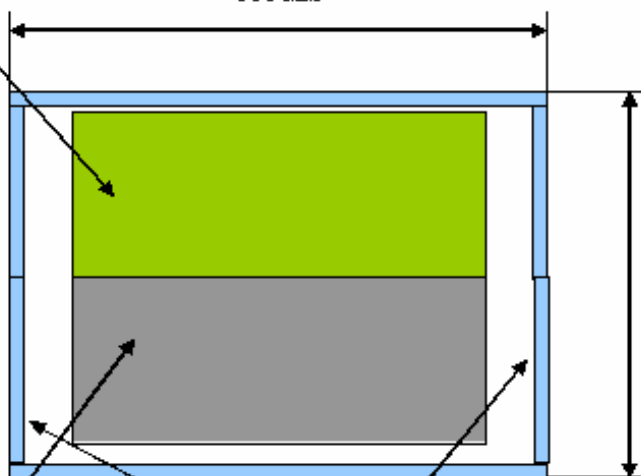




## Дополнительные возможности

Трекер с кремниевым конвертором

500 мм

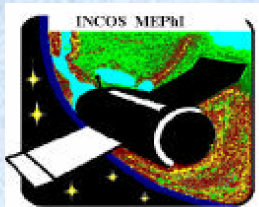


650 мм

Трекер с конвертором из вольфрама

Дополнительные секции боковых антисовпадений

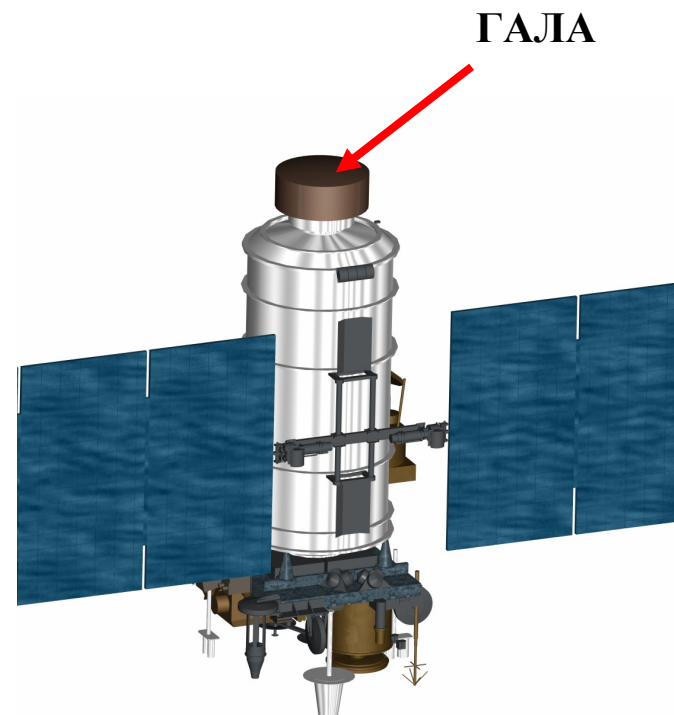
- ⓐ Предполагается провести анализ возможности установки дополнительного блока к телескопу ГАЛА.
- ⓐ Блок состоит из трекара, в котором кремниевые конвертеры заменены на пластины вольфрама, и секций боковых детекторов антисовпадений.
- ⓐ Это позволит существенно увеличить чувствительную площадь прибора и расширить его энергетический диапазон.

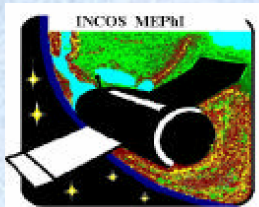


# Космический аппарат Метеор-М

## Основные характеристики

Тип орбиты	Круговая, солнечно-синхронная
Высота орбиты	835 км
Наклонение	98.68°
Ориентация	Орбитальная
Точность ориентации	0.1°
Точность определения положения	Не хуже 30 м
Точность синхронизации бортового времени с UT	2 мкс
Масса КА	800 кг
Масса полезной нагрузки	320 кг
Энергообеспечение	1.4 кВт
Телеметрия	122 Мбод
Срок активного существования	Не менее 5 лет

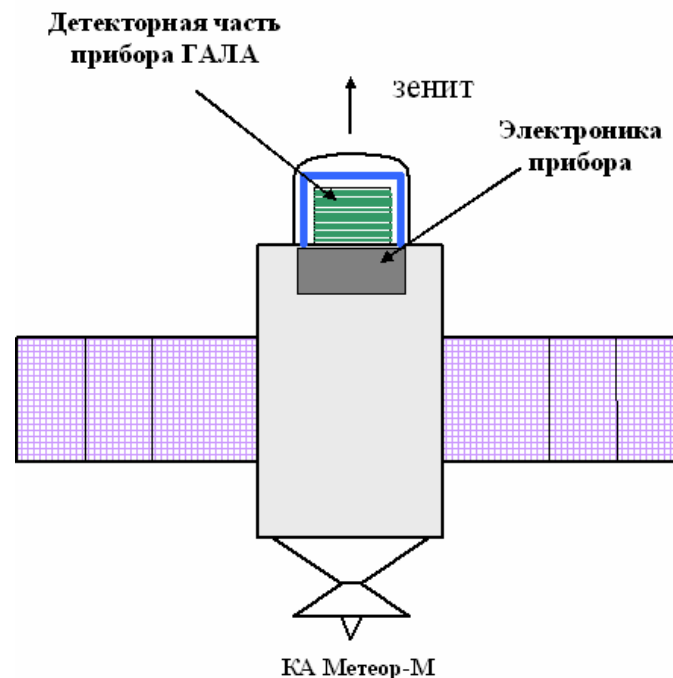


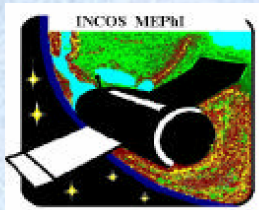


# Размещение прибора ГАЛА на КА Метеор-М

## Технические характеристики телескопа ГАЛА

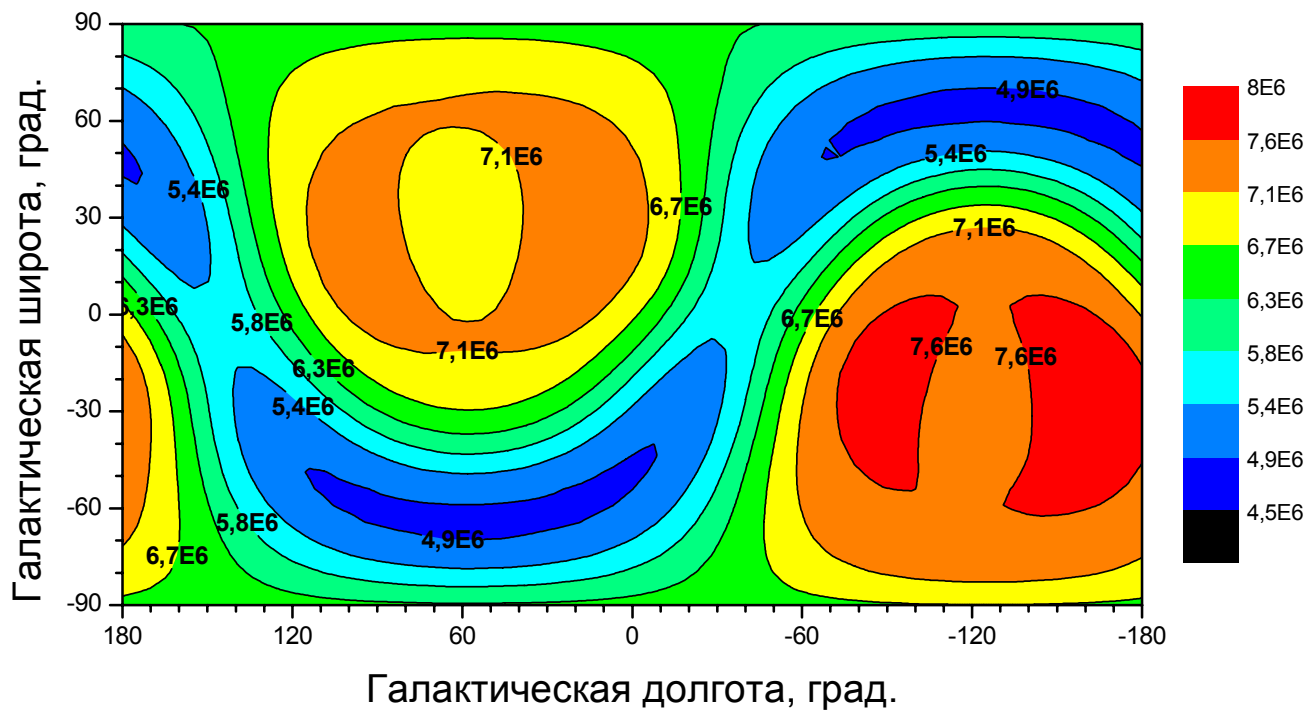
Габаритные размеры телескопа ГАЛА	600×600×600 мм
Масса прибора	~100 кг
Энергопотребление	~150 Вт
Объем ЗУ прибора	2 Гбайт
Необходимая точность определения ориентации осей прибора в пространстве	0.1°
Необходимая точность временной привязки регистрируемых событий	Не хуже 10 мкс
Объем накопленной прибором научной информации, передаваемой на Землю в сутки	~2 ÷ 3 Гбайт



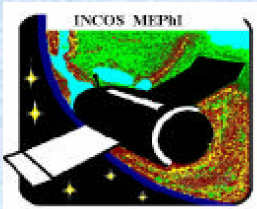


# Ожидаемая экспозиция небесной сферы

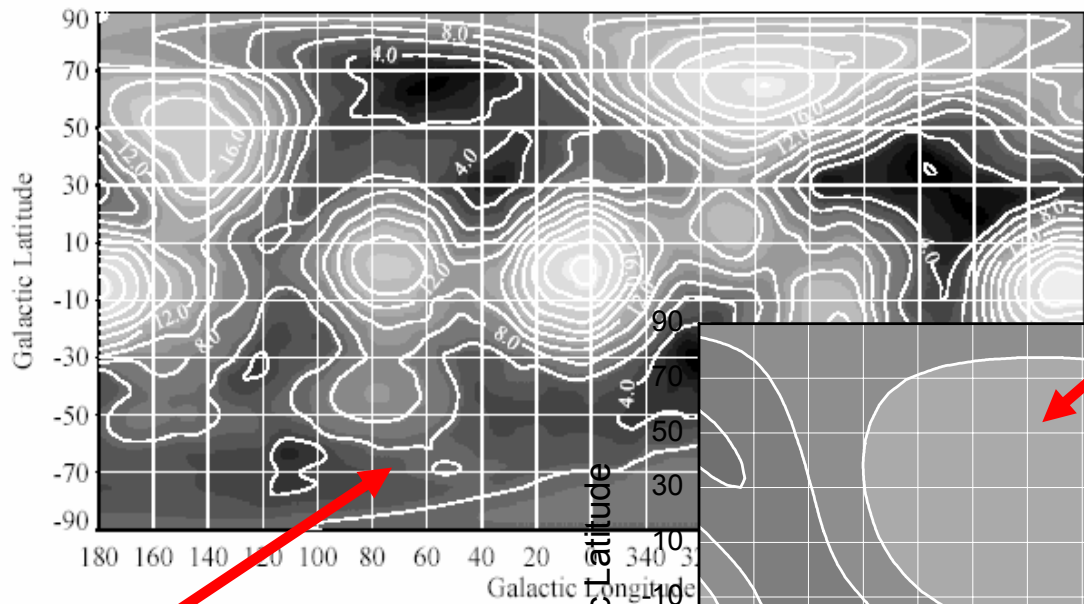
Экспозиция в секундах  
Период наблюдений: 1 год







# Сравнение экспозиций приборов EGRET и ГАЛА



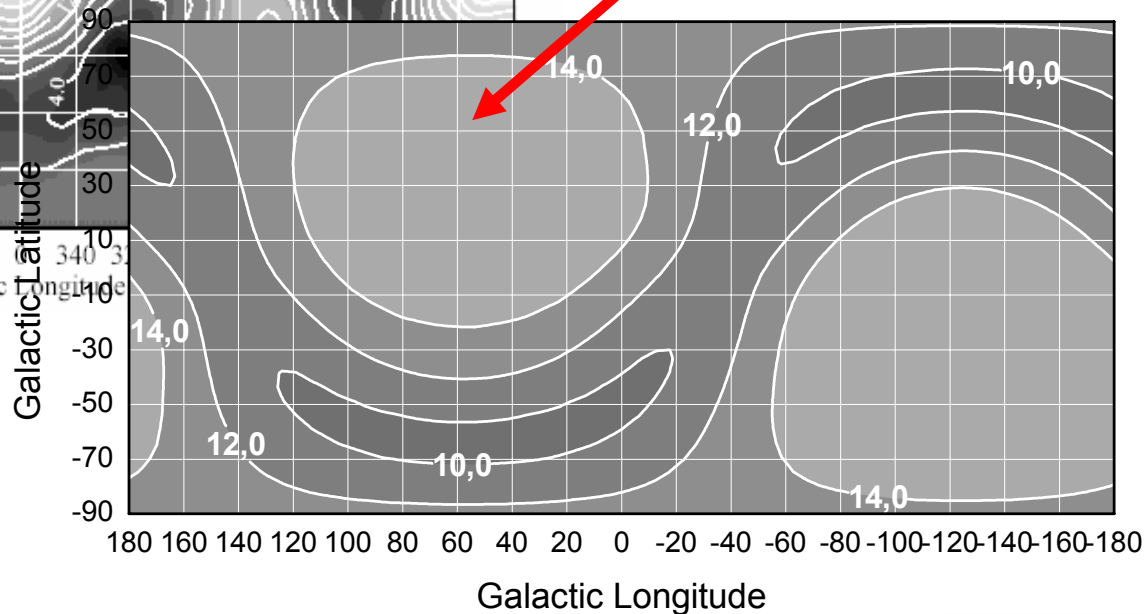
**EGRET**

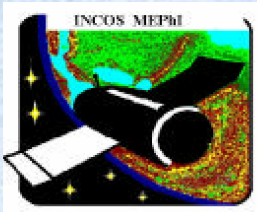
Циклы наблюдений: 1, 2, 3, 4

Единицы:  $10^8 \text{ см}^2\text{с}$

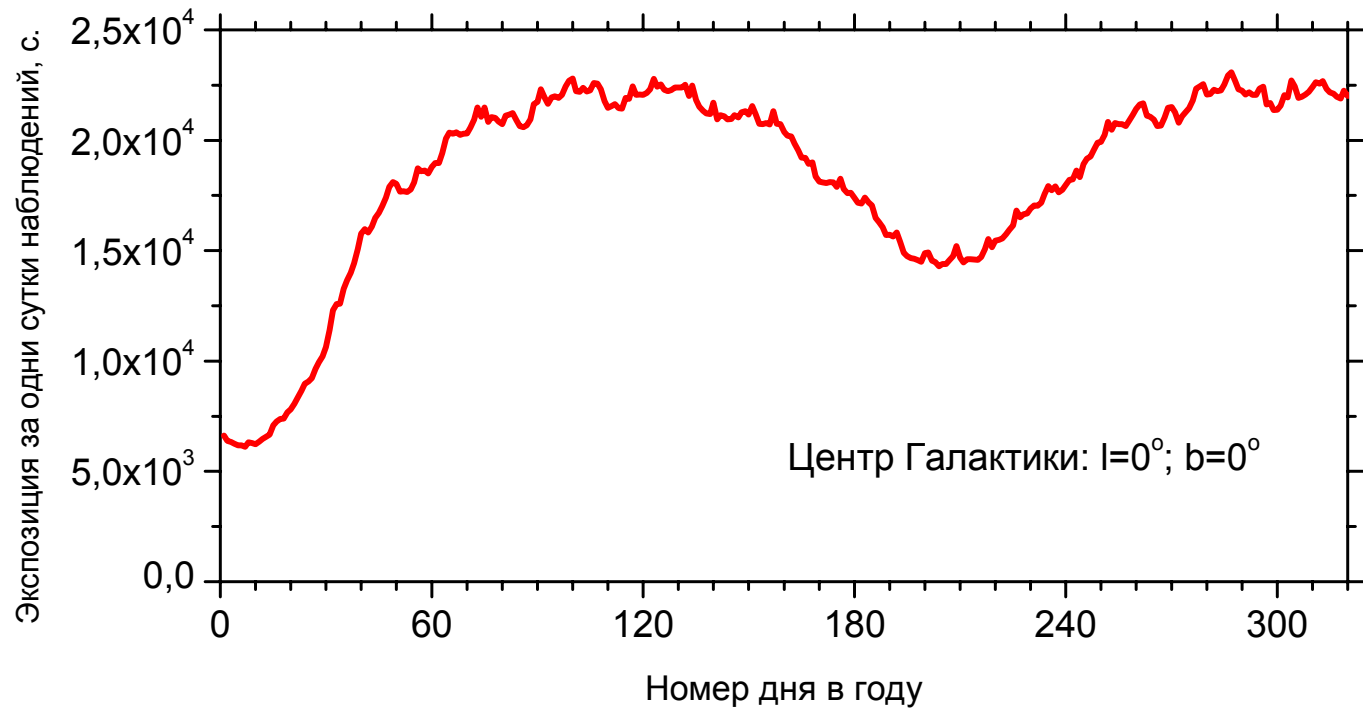
**ГАЛА**

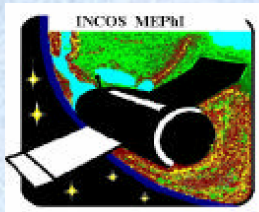
1 год наблюдений



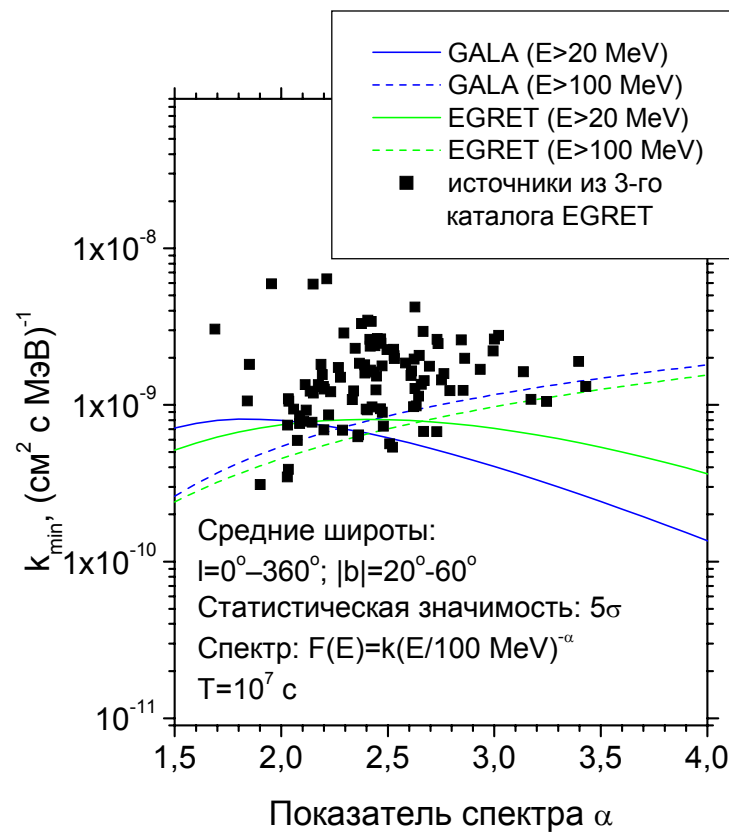
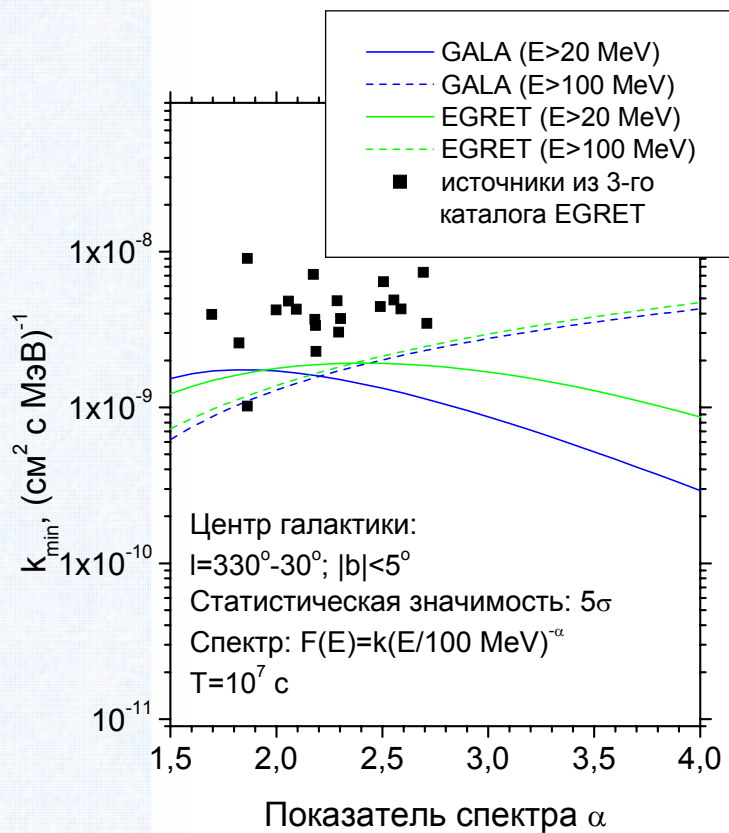


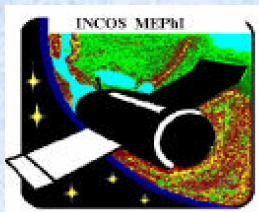
# Зависимость экспозиции источника от времени





# Чувствительность для точечных источников

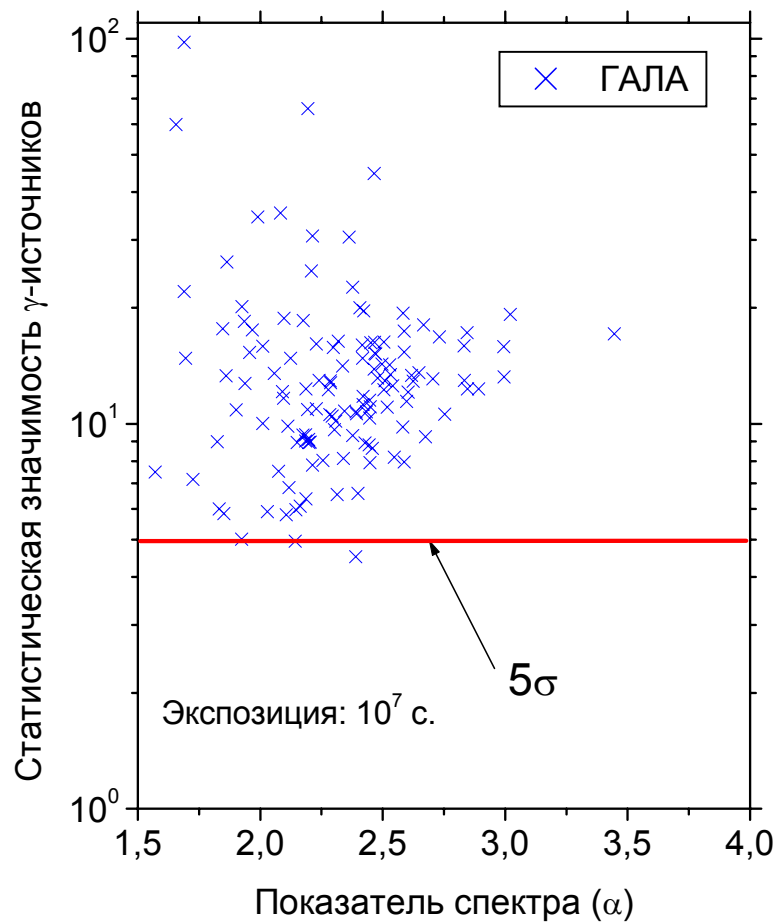
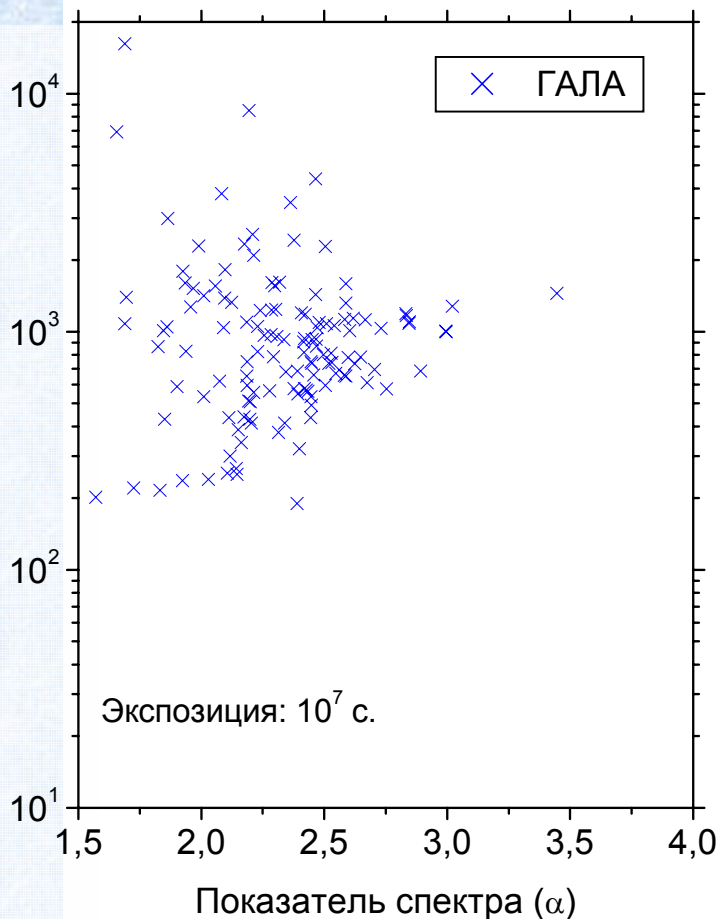




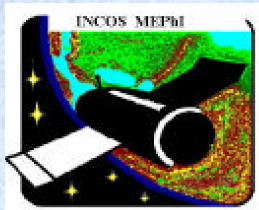
# Ожидаемые результаты наблюдений:

Количество зарегистрированных  $\gamma$ -квантов от источников из 3-го каталога EGRET, демонстрирующих невысокую переменность во времени

Число зарегистрированных  $\gamma$ -квантов от дискретных источников из 3-го каталога EGRET

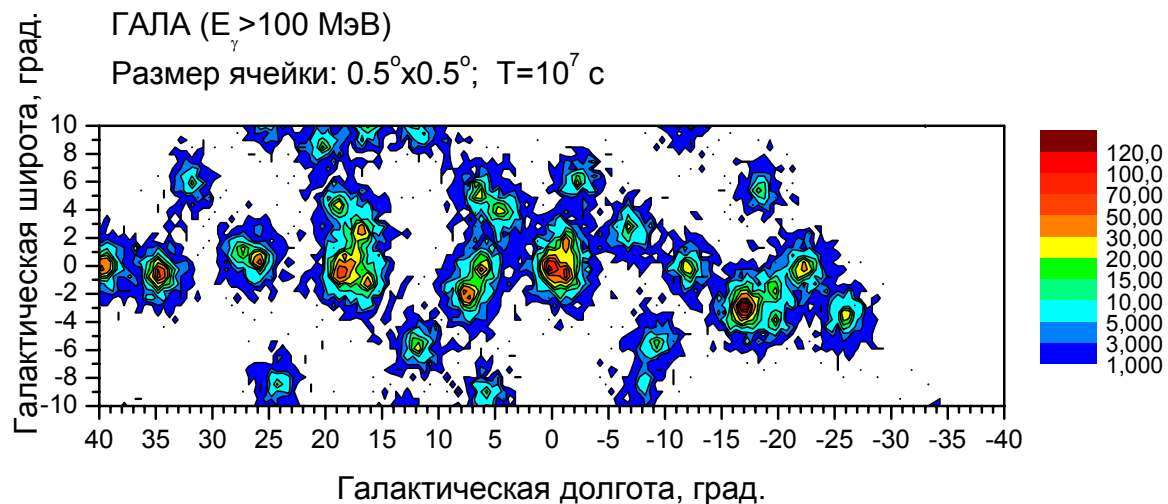
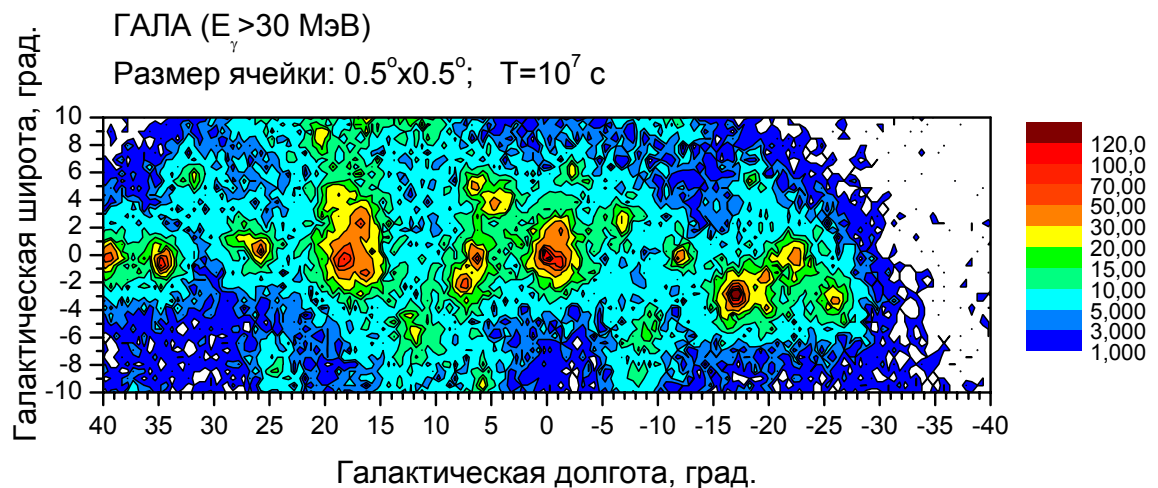


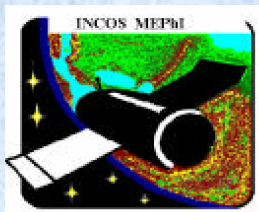




# Ожидаемые результаты наблюдений:

## Карты интенсивности гамма-излучения от дискретных источников, расположенных в центре Галактики





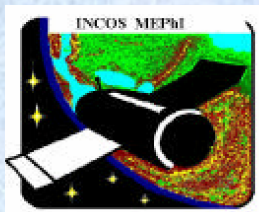
# План работ по реализации проекта ГАЛА: 2005 – 2006 гг.

## 2005 г.

- Проведение обсуждения научных задач и физической схемы прибора; распределение работ и финансовых вкладов с российскими и иностранными участниками проекта.
- Обсуждение на заседании совета по космосу РАН и принятие решения о проведении НИР.
- Включение в план НИРовских работ на 2006 г. совета по космосу РАН и Роскосмоса.

## 2006 г.

- Проведение расчетов по оптимизации физической схемы прибора с учетом выполнения научных задач и условий проведения измерений на борту КА Метеор-М .
- Разработка ТТЗ проекта ГАЛА .
- Разработка эскизного проекта научной аппаратуры, интерфейсов с КА, контрольно-измерительной аппаратуры .



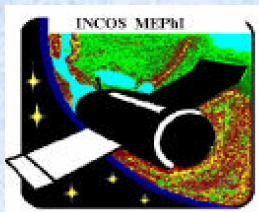
# План работ по реализации проекта ГАЛА: 2007 – 2008 гг.

## 2007 г.

- Разработка технического проекта ГАЛА.
- Выпуск конструкторской документации.
- Изготовление технологических моделей систем НА ГАЛА.
- Изготовление КИА.
- Комплектация.

## 2008 г.

- Изготовление технологической модели НА ГАЛА.
- Проведение электро-физических испытаний ТМ НА ГАЛА.
- Проведение КДИ систем НА ГАЛА.
- Изготовление летных экземпляров систем НА ГАЛА.



# План работ по реализации проекта ГАЛА: 2009 – 2010 гг.

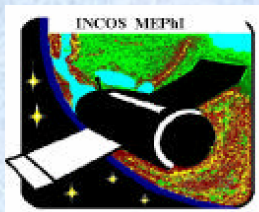
## 2009 г.

- Сборка и настройка летного образца НА ГАЛА.
- Проведение ПСИ НА ГАЛА, включая калибровку на пучках меченых гамма-квантов .
- Интеграция НА ГАЛА на КА Метеор-М, проведение комплексных испытаний.

## 2010 г.

- Запуск КА Метеор-М с НА ГАЛА.
- Проведение наблюдений на орбите 2010 - 2016 гг.





## Участники проекта ГАЛА

### С российской стороны:

- Московский Инженерно-Физический Институт (Государственный Университет) – головная организация
- Государственный Астрономический Институт им. П.К. Штернберга МГУ
- Институт Астрономии РАН
- Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН
- Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Электромеханики

### Иностранные участники:

- Национальный Институт Ядерной Физики (Италия) – головная организация
- Королевский Политехнический Институт (Швеция)
- Институт Космической Аэрономии (Бельгия)
- Хельсинский Университет (Финляндия)