

Методика регистрации  $\gamma$ -излучения  
с энергией  $> 50$  ГэВ  
космическим гамма-телескопом  
ГАММА-400

М. Д. Хеймиц,  
А. А. Леонов,  
С. Н. Федотов,

А. М. Гальпер,  
И. А. Мереминский,  
М. П. Шарапов,

В. А. Каплин,  
М. Ф. Рунцо,  
Ю. Т. Юркин

от имени коллаборации ГАММА-400

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Секция ядерной физики ОФН РАН

Москва, 2012

# Введение

# Основные задачи проекта ГАММА-400

- Поиск следов тёмной материи ( $\gtrsim 100$  ГэВ)

© 2015-2016, ИФВЭ

## Основные задачи проекта ГАММА-400

- Поиск следов тёмной материи ( $\gtrsim 100$  ГэВ)
  - Анигиляция
  - Распад

## Основные задачи проекта ГАММА-400

- Поиск следов тёмной материи ( $\gtrsim 100$  ГэВ)
  - Анигиляция
  - Распад
- Исследование дискретных  $\gamma$ -источников

## Основные задачи проекта ГАММА-400

- Поиск следов тёмной материи ( $\gtrsim 100$  ГэВ)
  - Анигиляция
  - Распад
- Исследование дискретных  $\gamma$ -источников
- Исследование диффузного  $\gamma$ -излучения

## Основные задачи проекта ГАММА-400

- Поиск следов тёмной материи ( $\gtrsim 100$  ГэВ)
  - Анигиляция
  - Распад
- Исследование дискретных  $\gamma$ -источников
- Исследование диффузного  $\gamma$ -излучения
- И другие...

## Основные задачи проекта ГАММА-400

- Поиск следов тёмной материи ( $\gtrsim 100$  ГэВ)
  - Анигиляция
  - Распад
- Исследование дискретных  $\gamma$ -источников
- Исследование диффузного  $\gamma$ -излучения
- И другие...

## Основные задачи проекта ГАММА-400

- Поиск следов тёмной материи ( $\gtrsim 100$  ГэВ)
  - Анигиляция
  - Распад
- Исследование дискретных  $\gamma$ -источников
- Исследование диффузного  $\gamma$ -излучения
- И другие...

# Основные задачи проекта ГАММА-400

- Поиск следов тёмной материи ( $\gtrsim 100$  ГэВ)
  - Анигиляция
  - Распад
- Исследование дискретных  $\gamma$ -источников
- Исследование диффузного  $\gamma$ -излучения
- И другие...

# Требуемые характеристики гамма-телескопа

- Угловое разрешение:  $\lesssim 0,02^\circ$
- Энергетическое разрешение:  $\lesssim 2\%$

## Требуемые характеристики гамма-телескопа

- Угловое разрешение:  $\lesssim 0,02^\circ$
- Энергетическое разрешение:  $\lesssim 2\%$
- Эффективная площадь:  $\gtrsim 0,5 \text{ м}^2$

## Требуемые характеристики гамма-телескопа

- Угловое разрешение:  $\lesssim 0,02^\circ$
- Энергетическое разрешение:  $\lesssim 2\%$
- Эффективная площадь:  $\gtrsim 0,5 \text{ м}^2$
- Выделение  $\gamma$ -квантов:  $\gtrsim 10^5$

## Требуемые характеристики гамма-телескопа

- Угловое разрешение:  $\lesssim 0,02^\circ$
- Энергетическое разрешение:  $\lesssim 2\%$
- Эффективная площадь:  $\gtrsim 0,5 \text{ м}^2$
- Выделение  $\gamma$ -квантов:  $\gtrsim 10^5$

## Требуемые характеристики гамма-телескопа

- Угловое разрешение:  $\lesssim 0,02^\circ$
- Энергетическое разрешение:  $\lesssim 2\%$
- Эффективная площадь:  $\gtrsim 0,5 \text{ м}^2$
- Выделение  $\gamma$ -квантов:  $\gtrsim 10^5$

## Зачем выделять гамма-кванты?

- $\gamma : e^- : p^+ \sim 1 : 10^2 : 10^5$
- $\Rightarrow$  Требуется режекция  $\gtrsim 10^5$

## Зачем выделять гамма-кванты?

- $\gamma : e^- : p^+ \sim 1 : 10^2 : 10^5 \Rightarrow$
- $\Rightarrow$  Требуется режекция  $\gtrsim 10^5$
- Эффективность АС =  $1 - 10^{-5} = 99,999\%$

## Зачем выделять гамма-кванты?

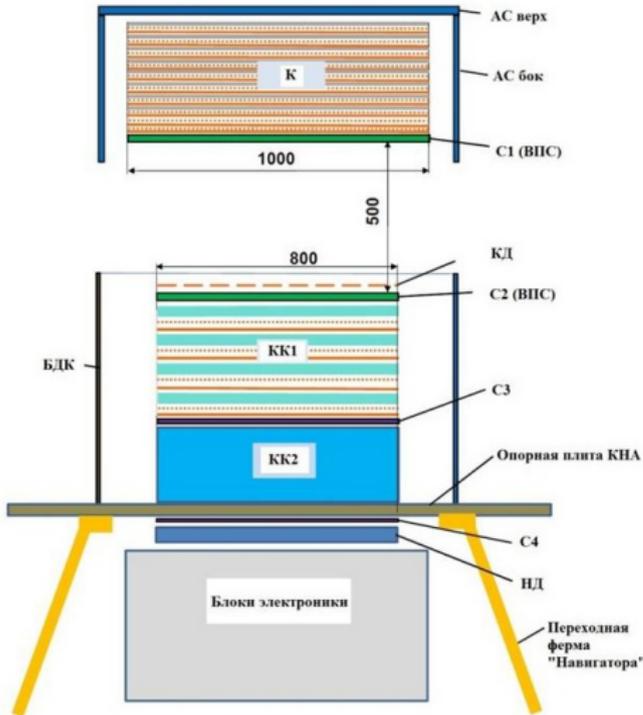
- $\gamma : e^- : p^+ \sim 1 : 10^2 : 10^5 \Rightarrow$
- $\Rightarrow$  Требуется режекция  $\gtrsim 10^5$
- Эффективность АС =  $1 - 10^{-5} = 99,999\%$

## Зачем выделять гамма-кванты?

- $\gamma : e^- : p^+ \sim 1 : 10^2 : 10^5 \Rightarrow$
- $\Rightarrow$  Требуется режекция  $\gtrsim 10^5$
- Эффективность АС =  $1 - 10^{-5} = 99,999\%$

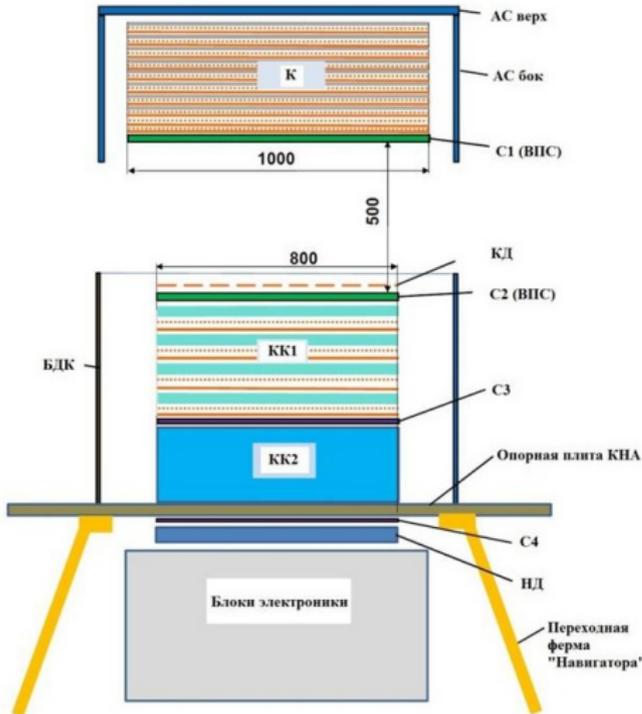
# Проект ГАММА-400

# Физическая схема гамма-телескопа



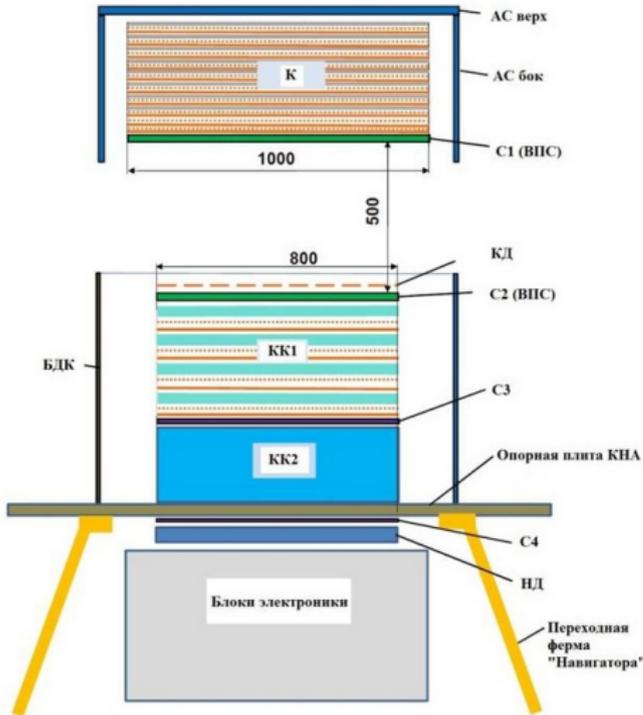
- АС — сцинтилляционный детектор антисовпадений
- К — конвертер-трекер (10 слоёв)
- С1, С2 — сцинтилляционные детекторы времяпролётной системы (ВПС)
- КК1 — координато-чувствительный калориметр (3 р. е. д.)
- КК2 — калориметр из BGO (22 р. е. д.)
- С3 — сцинтилляционный детектор развития э/м ливня
- С4 — сцинтилляционный детектор утечки
- НД — детектор нейтронов

# Физическая схема гамма-телескопа



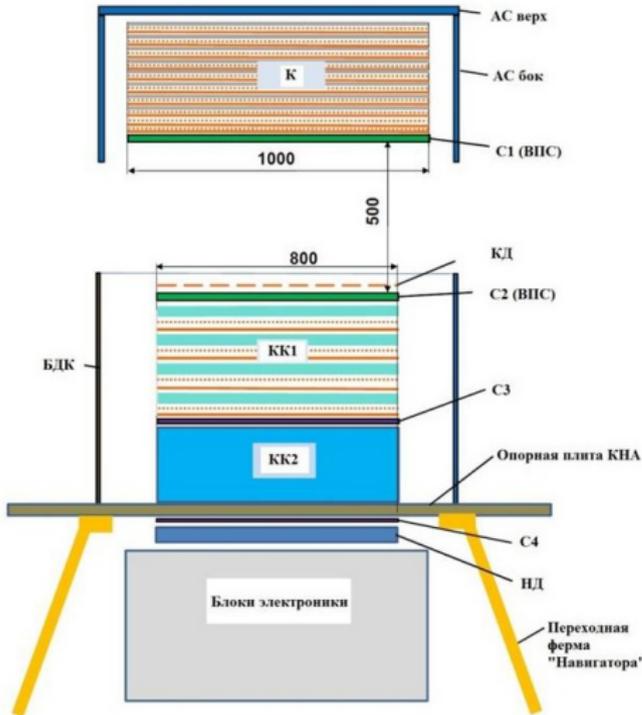
- АС — сцинтилляционный детектор антисовпадений
- К — конвертер-трекер (10 слоёв)
- С1, С2 — сцинтилляционные детекторы времяпролётной системы (ВПС)
- КК1 — координато-чувствительный калориметр (3 р. е. д.)
- КК2 — калориметр из BGO (22 р. е. д.)
- С3 — сцинтилляционный детектор развития э/м ливня
- С4 — сцинтилляционный детектор утечки
- НД — детектор нейтронов

# Физическая схема гамма-телескопа



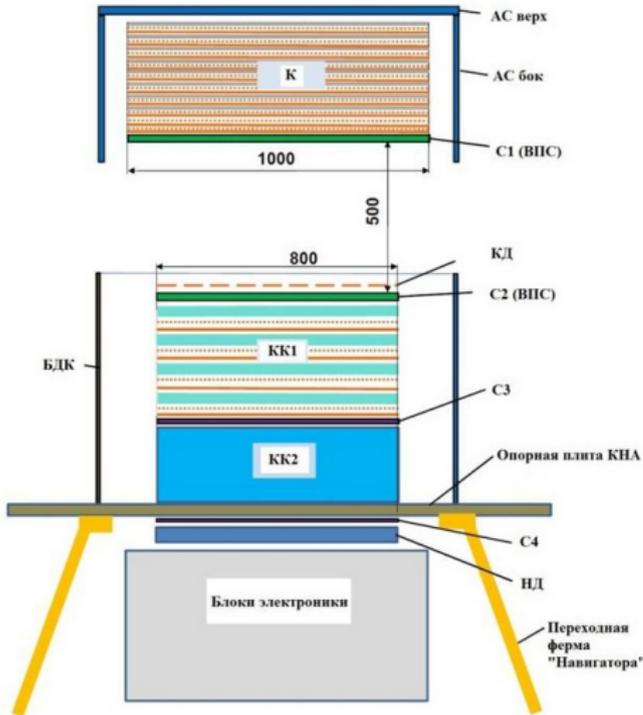
- АС — сцинтилляционный детектор антисовпадений
- К — конвертер-трекер (10 слоёв)
- С1, С2 — сцинтилляционные детекторы времяпролётной системы (ВПС)
- КК1 — координато-чувствительный калориметр (3 р. е. д.)
- КК2 — калориметр из BGO (22 р. е. д.)
- С3 — сцинтилляционный детектор развития э/м ливня
- С4 — сцинтилляционный детектор утечки
- НД — детектор нейтронов

# Физическая схема гамма-телескопа



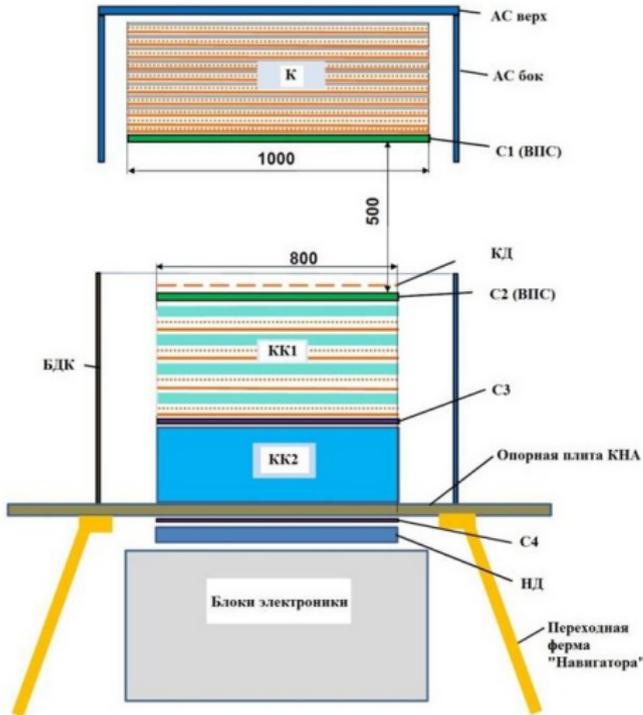
- AC — сцинтилляционный детектор антисовпадений
- K — конвертер-трекер (10 слоёв)
- C1, C2 — сцинтилляционные детекторы времяпролётной системы (ВПС)
- KK1 — координатно-чувствительный калориметр (3 р. е. д.)
- KK2 — калориметр из BGO (22 р. е. д.)
- C3 — сцинтилляционный детектор развития э/м ливня
- C4 — сцинтилляционный детектор утечки
- НД — детектор нейтронов

# Физическая схема гамма-телескопа



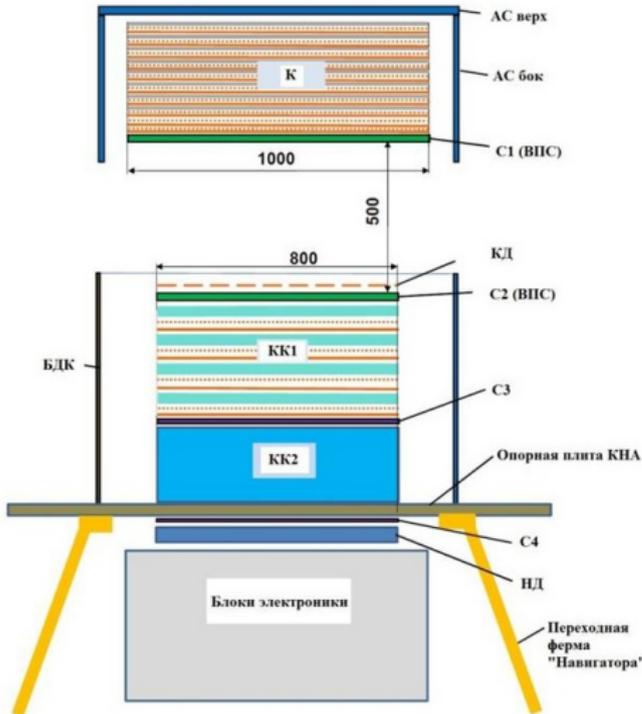
- AC — сцинтилляционный детектор антисовпадений
- K — конвертер-трекер (10 слоёв)
- C1, C2 — сцинтилляционные детекторы времяпролётной системы (ВПС)
- **KK1 — координато-чувствительный калориметр (3 р. е. д.)**
- KK2 — калориметр из BGO (22 р. е. д.)
- C3 — сцинтилляционный детектор развития э/м ливня
- C4 — сцинтилляционный детектор утечки
- НД — детектор нейтронов

# Физическая схема гамма-телескопа



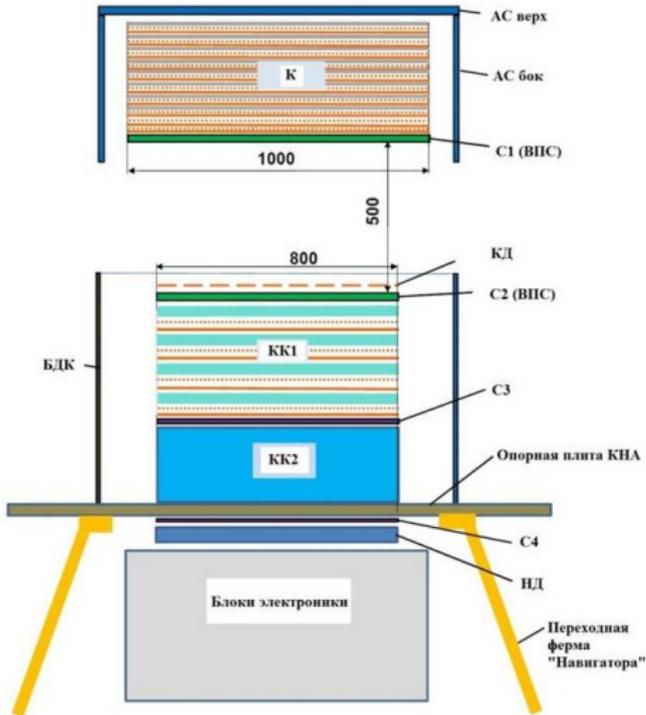
- АС — сцинтилляционный детектор антисовпадений
- К — конвертер-трекер (10 слоёв)
- С1, С2 — сцинтилляционные детекторы времяпролётной системы (ВПС)
- КК1 — координато-чувствительный калориметр (3 р. е. д.)
- КК2 — калориметр из BGO (22 р. е. д.)
- С3 — сцинтилляционный детектор развития э/м ливня
- С4 — сцинтилляционный детектор утечки
- НД — детектор нейтронов

# Физическая схема гамма-телескопа



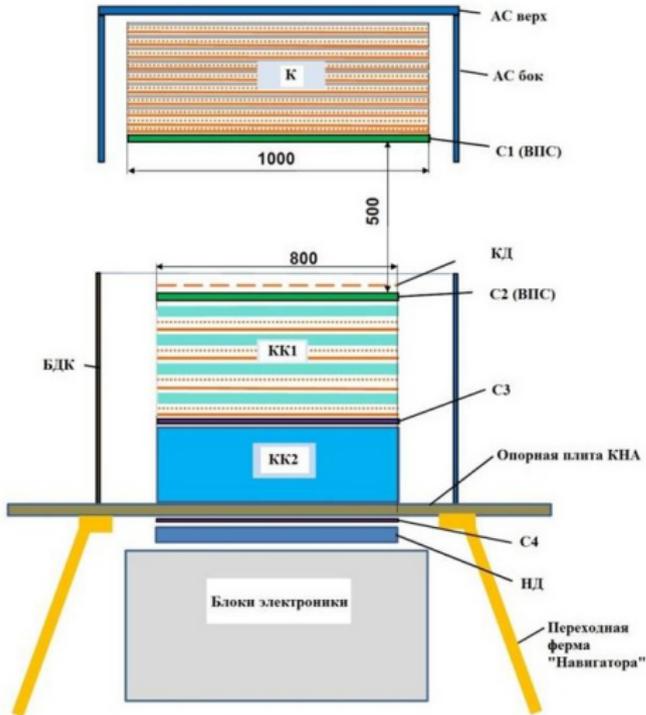
- AC — сцинтилляционный детектор антисовпадений
- К — конвертер-трекер (10 слоёв)
- С1, С2 — сцинтилляционные детекторы времяпролётной системы (ВПС)
- КК1 — координатно-чувствительный калориметр (3 р. е. д.)
- КК2 — калориметр из BGO (22 р. е. д.)
- С3 — сцинтилляционный детектор развития э/м ливня
- С4 — сцинтилляционный детектор утечки
- НД — детектор нейтронов

# Физическая схема гамма-телескопа



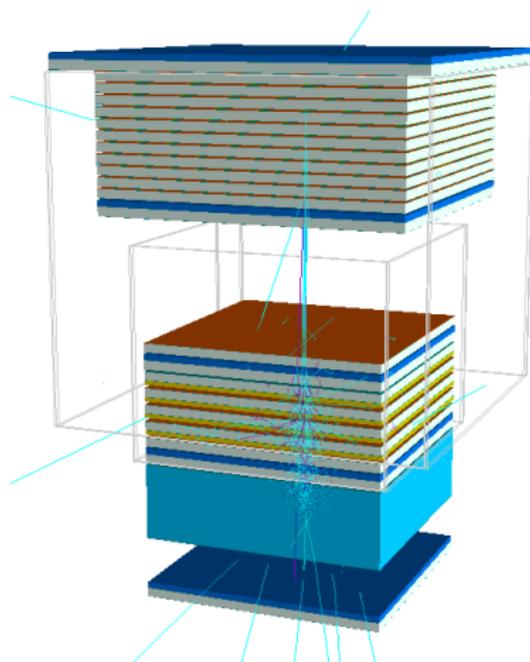
- АС — сцинтилляционный детектор антисовпадений
- К — конвертер-трекер (10 слоёв)
- С1, С2 — сцинтилляционные детекторы времяпролётной системы (ВПС)
- КК1 — координатно-чувствительный калориметр (3 р. е. д.)
- КК2 — калориметр из BGO (22 р. е. д.)
- С3 — сцинтилляционный детектор развития э/м ливня
- С4 — сцинтилляционный детектор утечки
- НД — детектор нейтронов

# Физическая схема гамма-телескопа



- АС — сцинтилляционный детектор антисовпадений
- К — конвертер-трекер (10 слоёв)
- С1, С2 — сцинтилляционные детекторы времяпролётной системы (ВПС)
- КК1 — координатно-чувствительный калориметр (3 р. е. д.)
- КК2 — калориметр из BGO (22 р. е. д.)
- С3 — сцинтилляционный детектор развития э/м ливня
- С4 — сцинтилляционный детектор утечки
- НД — детектор нейтронов

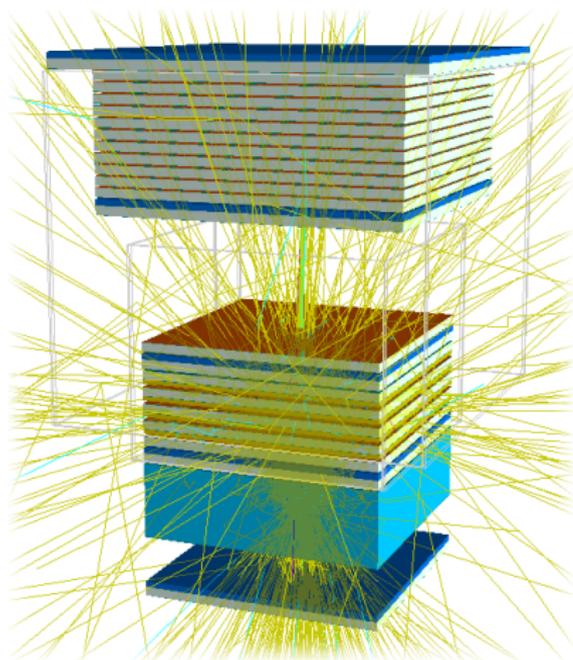
# Пример регистрации $\gamma$ -кванта с энергией 100 ГэВ



Обратный ток

$e^-$   
 $e^+$

# Пример регистрации $\gamma$ -кванта с энергией 100 ГэВ



Обратный ток

$e^-$   
 $e^+$   
 $\gamma$

# Методика временно́го отбора гамма-квантов

## Принцип метода

- АС и ВПС — время-чувствительные
- Временное разрешение  $\sim 0,6$  нс

## Принцип метода

- АС и ВПС — время-чувствительные
- Временное разрешение  $\sim 0,6$  нс
- $\frac{\text{Расстояние между АС и С1}}{\text{скорость света}} \approx 1,5$  нс

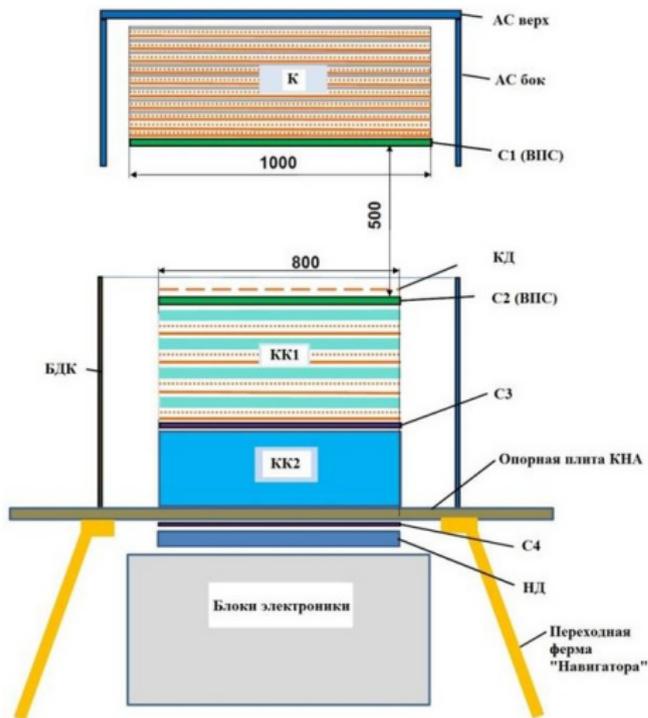
## Принцип метода

- АС и ВПС — время-чувствительные
- Временное разрешение  $\sim 0,6$  нс
- $\frac{\text{Расстояние между АС и С1}}{\text{скорость света}} \approx 1,5$  нс

## Принцип метода

- АС и ВПС — время-чувствительные
- Временное разрешение  $\sim 0,6$  нс
- $$\frac{\text{Расстояние между АС и С1}}{\text{скорость света}} \approx 1,5 \text{ нс}$$

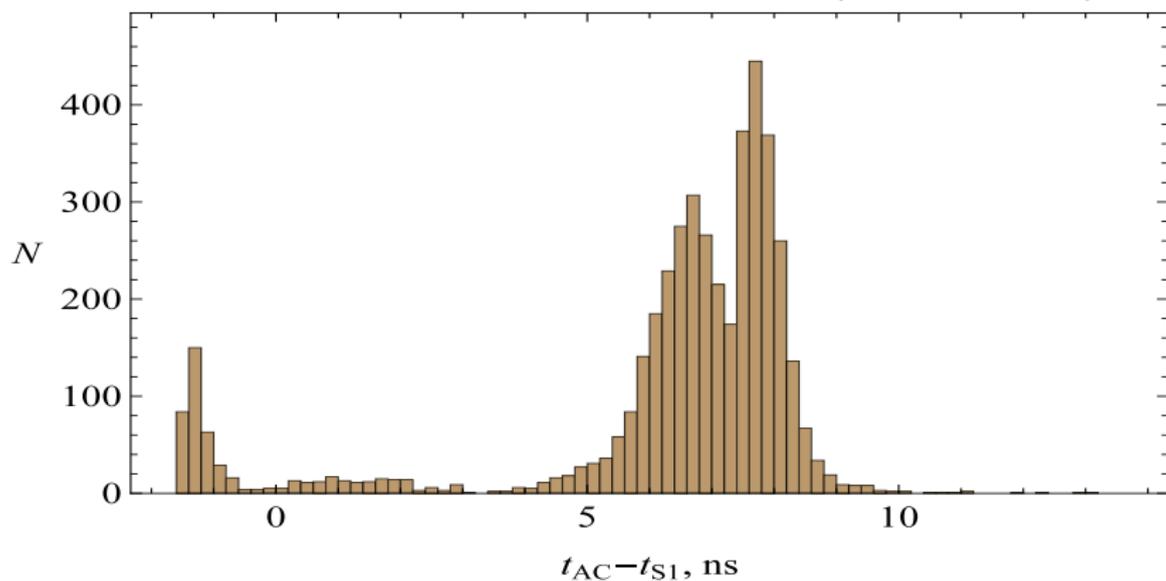
## Принцип метода



- АС — сцинтиляционный детектор антисовпадений
- К — конвертер-трекер (10 слоёв)
- С1, С2 — сцинтиляционные детекторы времяпролётной системы (ВПС)
- КК1 — координато-чувствительный калориметр (3 р. е. д.)
- КК2 — калориметр из BGO (22 р. е. д.)
- С3 — сцинтиляционный детектор развития э/м ливня
- С4 — сцинтиляционный детектор утечки
- НД — детектор нейтронов

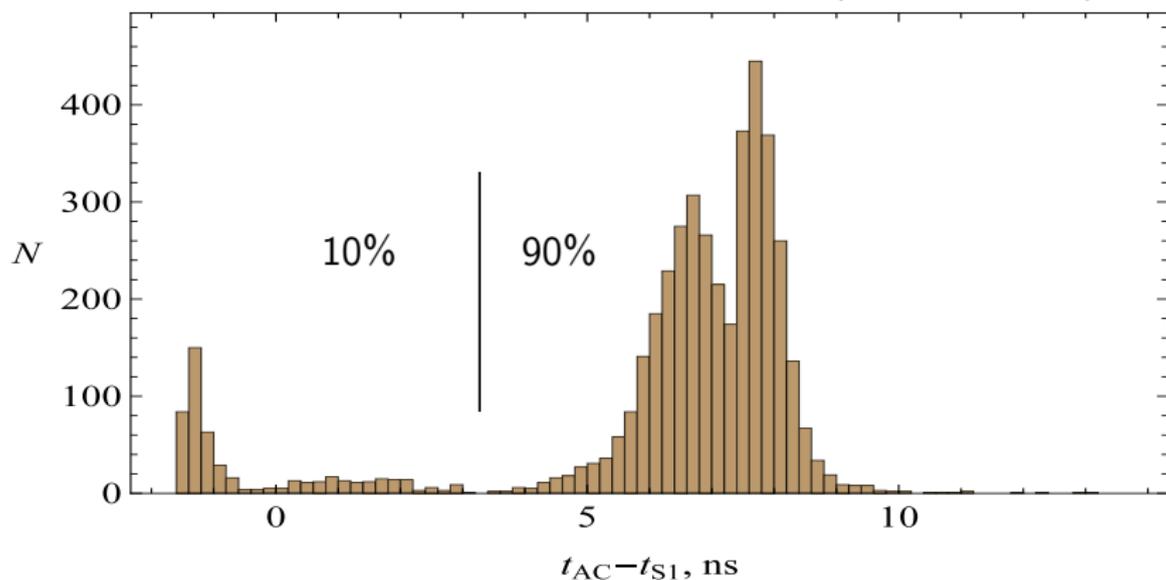
## Моделирование возможности отбора

Разность времён срабатывания АС и С1 при использовании  
схемы время-координатной компенсации (Монте-Карло)



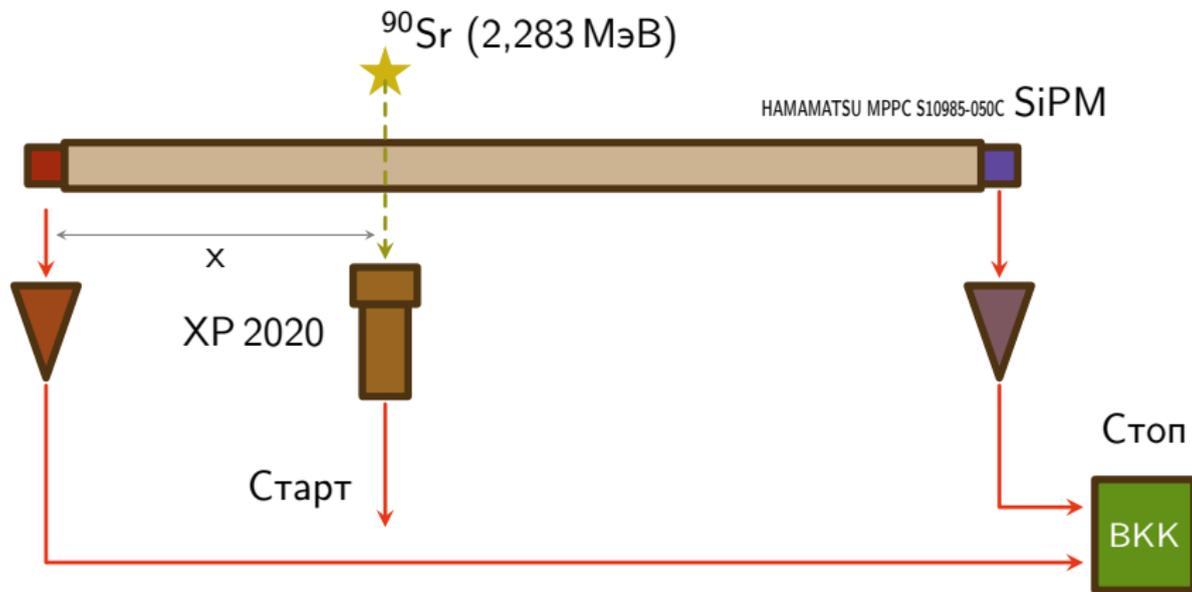
## Моделирование возможности отбора

Разность времён срабатывания АС и С1 при использовании  
схемы время-координатной компенсации (Монте-Карло)

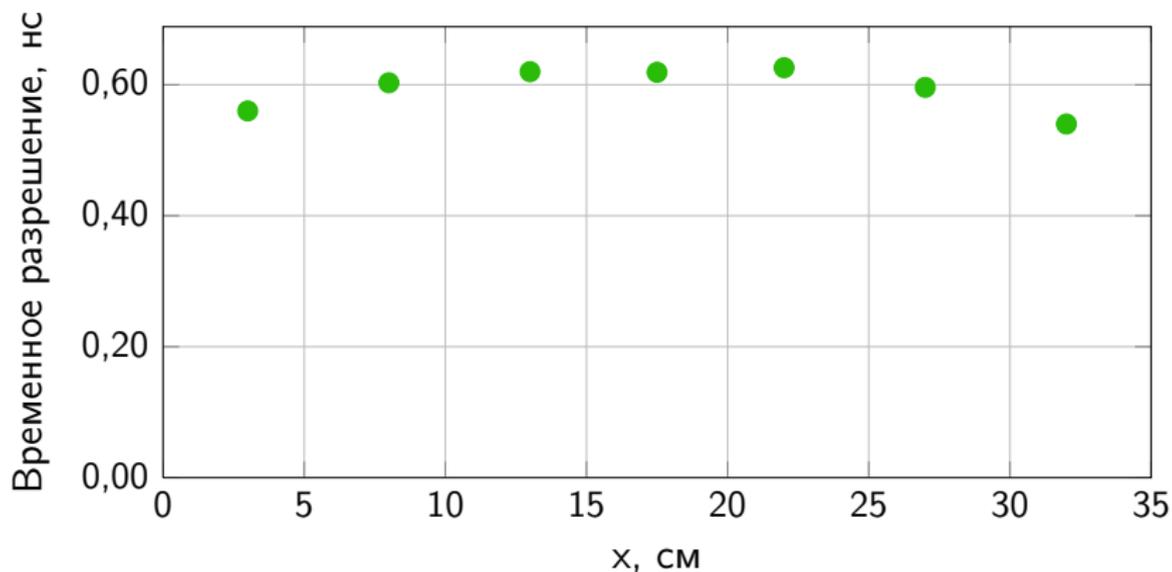


# Экспериментальное исследование макета сцинтилляционного модуля

## Схема макета сцинтилляционного детектора



## Зависимость временного разрешения от координаты



[Подробнее](#)

# Заключение

## Заклучение

- Впервые в гамма-астрономии предлагается использование временного анализа для режекции обратного тока
- Метод позволяет надёжно выделять  $\gamma$ -кванты высокой энергии на фоне заряженных частиц без существенного уменьшения эффективности регистрации.

## Заклучение

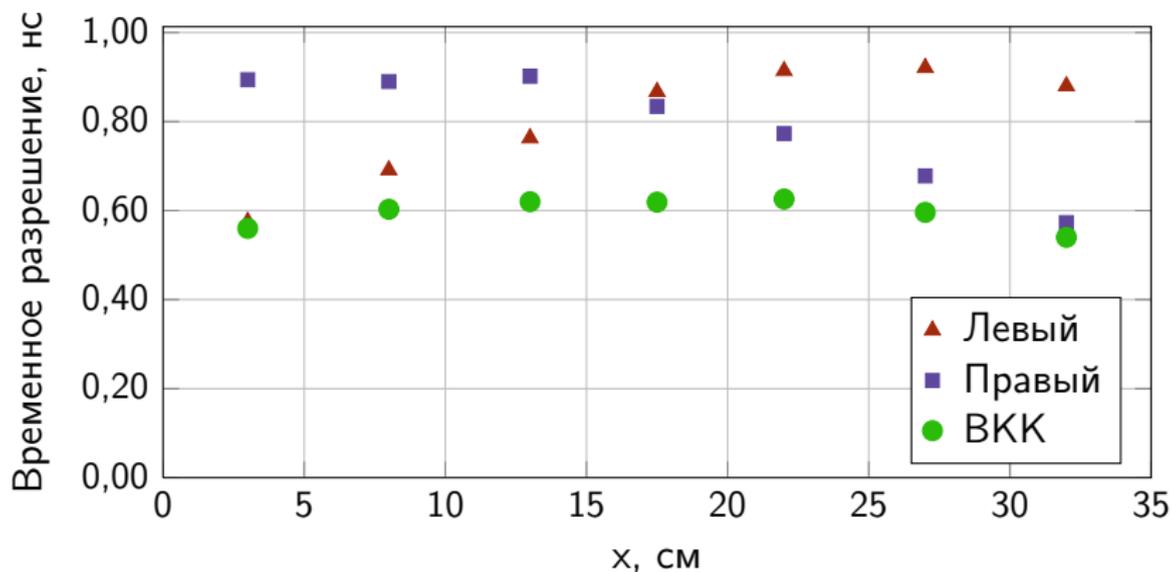
- Впервые в гамма-астрономии предлагается использование временного анализа для режекции обратного тока
- Метод позволяет надёжно выделять  $\gamma$ -кванты высокой энергии на фоне заряженных частиц без существенного уменьшения эффективности регистрации.

## Заклучение

- Впервые в гамма-астрономии предлагается использование временного анализа для режекции обратного тока
- Метод позволяет надёжно выделять  $\gamma$ -кванты высокой энергии на фоне заряженных частиц без существенного уменьшения эффективности регистрации.

Спасибо за внимание!

# Зависимость временного разрешения от координаты



↑ Назад

# Сравнение экспериментов

Эксперимент \ Отбор	Амплитудный	Сегментация	Временной	$\mathcal{E}_{\max}$ , ГэВ
EGRET	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30
Fermi/LAT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100
ГАММА-400	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3000