



УДК 629.7.001.5:52

**РАЗРАБОТКА ГАММА-ТЕЛЕСКОПА ГАММА-400 ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ЭНЕРГИЯМИ ДО 1 ТЭВ**

© 2007 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>**,  
А. Г. Лабенский<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. Шеин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва<sup>2</sup>Московский инженерно-физический институт<sup>3</sup>Институт физики высоких энергий, г. Протвино

Поступила в редакцию 20.09.2006 г.

PACS: 95.55.Ка; 95.35.+d

Регистрация гамма-излучения космического происхождения предоставляет уникальные возможности исследования процессов, происходящих на удаленных астрономических объектах при высоких и сверхвысоких энергиях. Прямые измерения космического гамма-излучения проведены лишь до энергий 30–50 ГэВ. В то же время есть основания полагать, что измерения в области больших энергий (вплоть до 1 ТэВ) дадут возможность получить информацию по ряду еще не решенных вопросов. В частности, для построения модели генерации гамма-излучения высокой энергии требуются наблюдательные данные о форме спектра диффузного гамма-излучения. Сведения о спектрах дискретных источников позволят понять специфику механизма генерации в них высокоэнергичного гамма-излучения. Актуальной проблемой современной астрофизики является природа “темной материи” в Галактике и в целом во Вселенной. В одной из наиболее популярных моделей предполагается, что “темная материя” формируется пока еще не обнаруженными частицами (нейтралито), существование и свойства которых предсказывает теория суперсимметрии. При аннигиляции двух нейтралито происходит испускание двух моноэнергетических гамма-квантов с энергией более сотен ГэВ. Обнаружение таких гамма-линий подтвердит, с одной стороны, правильность теории суперсимметрии, а с другой, продвинет нас в решении вопроса о природе “темной материи”.

Для проведения на космическом аппарате прямых измерений гамма-излучения в интервале энергий 30–1000 ГэВ разрабатывается гамма-телескоп ГАММА-400 [1–2].

**Структура гамма-телескопа ГАММА-400.** Гамма-телескоп ГАММА-400 (рис. 1) формируется системой детекторов, обеспечивающих регистрацию и определение природы прошедших через него ча-

стиц, и устройством для измерения энергии – калориметром (СКМ). Для увеличения светосилы телескопа в нем имеются две детектирующие системы, размещенные на двух торцах СКМ. Каждая детектирующая система состоит из вето-детектора (АС), свинцового конвертора (К), сцинтилляторов (СВ и СН), регистрирующих продукты конверсии и запускающих времяпролетную систему, определяющую направление прихода частицы, а также системы координатных детекторов (КД).

Вето-детектор (АС) дает возможность выделять гамма-кванты на фоне потока заряженных частиц. Отметим, что измерения при энергиях выше сотен ГэВ сопровождаются появлением рассеянных частиц “обратного тока”, способных имитировать прохождение через вето-детектор первичной заряженной частицы, исключая при этом из регистрации прошедший через телескоп реальный гамма-квант. В телескопе ГАММА-400 производится идентификация таких событий путем сопоставления времен появления сигналов в детекторах АС и СВ.

Важнейшими элементами гамма-телескопа являются координатная система и калориметр, некоторые параметры которых определены расчетами и измерениями.

**Калориметр гамма-телескопа ГАММА-400.** Калориметр гамма-телескопа ГАММА-400 собирается из модулей, каждый из которых измеряет выделившуюся в нем энергию, а полная энергия частицы определяется как сумма измерений во всех модулях. Отдельный модуль имеет размеры 110 × 110 × 411 мм<sup>3</sup> и представляет собой последовательную (семплиговую) структуру из трехслойных сборок (формирующих элементов), каждая из которых состоит из слоя свинца (толщиной 0.55 мм), сцинтиллятора и светоотражателя. На плоскости

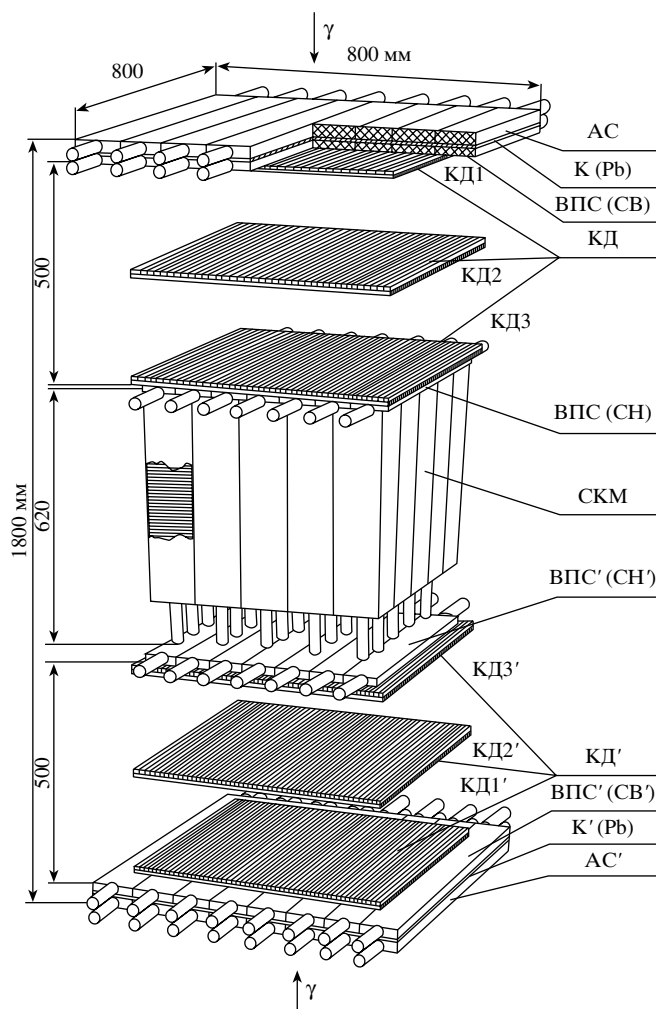


Рис. 1.

формирующего элемента имеются отверстия, предназначенные для размещения в них спектросмещающих волокон (ССВ). Каждый модуль содержит 180 формирующих элементов (полная толщина – 18 рад. длин). Сцинтилляционное свечение, генерируемое в сцинтилляторе заряженными части-

Таблица

Энергия гамма-квантов, ГэВ	Энергетическое разрешение, %	Эффективность регистрации, %
100	$2.08 \pm 0.1$	75
200	$2.09 \pm 0.1$	82
300	$2.49 \pm 0.2$	89
500	$2.54 \pm 0.2$	95
700	$2.42 \pm 0.2$	93
1000	$2.54 \pm 0.2$	99

цами ливня, передается на фотоприемник ФЭУ-115М при помощи ССВ BSF-91А диаметром 1 мм.

На макетном образце СКМ, собранном из 9 модулей, проводились измерения регистрируемых СКМ частиц космических лучей на поверхности Земли. Снимались распределения сигналов на выходе всех 9 модулей макета. Сравнение данных для различных модулей макета указывает на идентичность их характеристик, что дает основание суммировать показания всех модулей без введения каких-либо поправок.

Были проведены расчеты энергетического разрешения семплингового калориметра методом математического моделирования. Результаты расчетов для калориметра с 180 слоями приведены в таблице. Расчет показал, что энергетическое разрешение калориметра толщиной более 180 слоев при  $E_\gamma = 1000$  ГэВ лучше 2.5%.

В настоящее время ведется подготовка для измерения с использованием СКМ спектра гамма-квантов космических лучей на поверхности Земли.

**Координатная система гамма-телескопа ГАМ-МА-400.** Для определения направления прихода регистрируемых первичных заряженных частиц и гамма-квантов в составе каждой детектирующей системы имеется три двухслойных плоскости координатных детекторов. Каждый детектирующий слой собирается из прямоугольных сцинтилляторов сечением  $20 \times 20$  мм<sup>2</sup>, причем в двух слоях одной координатной плоскости длинные оси сцинтилляторов ориентированы взаимно перпендикулярно, что позволяет определять две координаты точки пересечения частицей соответствующей плоскости и восстанавливать ее траекторию. Сцинтилляционное свечение, возникающее при пролете частицы через детектор, собирается ССВ и транспортируется на вход фотоприемника Si-ФЭУ.

Были проведены измерения некоторых характеристик координатного детектора. В частности, измерялась зависимость амплитуды сигнала от места прохождения частицы. Результаты приведены на рис. 2 (там же представлен спектр при отсутствии сигналов с Si-ФЭУ – “пьедестал”). Спектры, соответствующие регистрации частиц в трех указанных точках, мало отличаются друг от друга. Это показывает, что затухание сцинтилляционного свечения в детекторе небольшое, и его роль при использовании ССВ и Si-ФЭУ значительно меньше, чем в случае применения вакуумных фотоумножителей. Разработанная методика может быть успешно использована при создании координатной системы. Такая координатная система позволяет определять угол влета отдельной частицы в телескоп с точностью до  $\pm 2^\circ$ , что достаточно при измерениях потоков диффузного космического гамма-излучения.

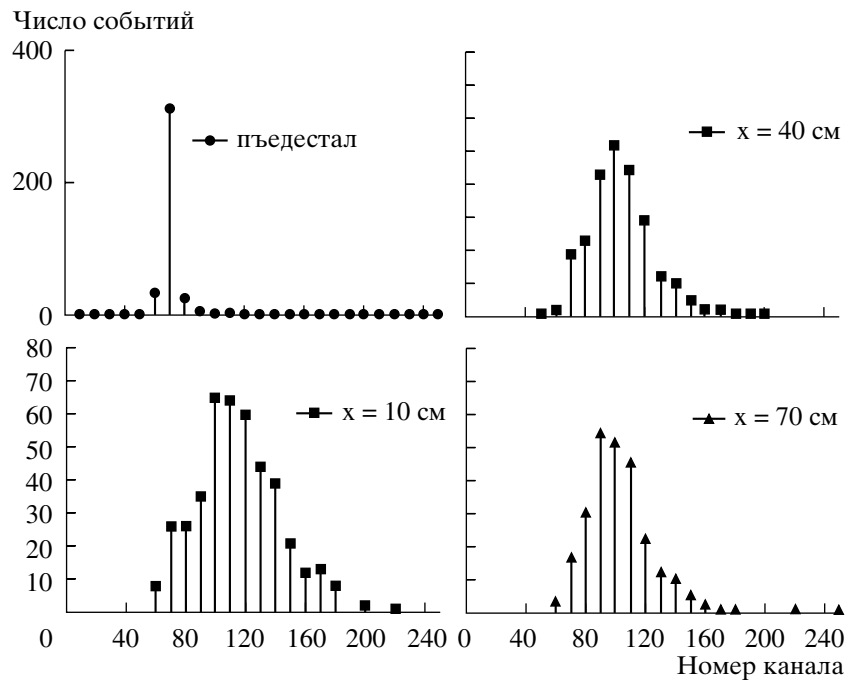


Рис. 2.

Применение вместо вакуумных ФЭУ твердотельных Si-ФЭУ и ССВ позволит создать компактную, легкую, энергоэкономичную и сравнительно недорогую координатную систему, что существенно при проведении измерений на космических аппаратах. Результаты измерений и расчетов дают основание считать разрабатываемую методику адекватной задаче исследования космического гамма-излучения при энергиях до 1 ТэВ.

Работа выполнялась в соответствии с Федеральной космической программой РФ на 1995–2005 гг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург В., Курносова Л., Разоренов Л. и др. Космическое гамма-излучение высокой энергии и проект гамма-телескопа ГАММА-400: Препринт № 3. Физический институт им. П.Н. Лебедева. Москва. 1995.
2. Гинзбург В., Каплин В., Каракаш А. и др. Российский вариант телескопа для регистрации диффузного гамма-излучения в области энергий 10–1000 ГэВ // Изв. АН. (сер. физ.), 2005. Т. 69. № 3. С. 428.