

УДК 524.1(06)

РОССИЙСКИЙ ВАРИАНТ ТЕЛЕСКОПА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ДИФФУЗНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 10–1000 ГЭВ

© 2005 г. В. Л. Гинзбург¹, В. А. Каплин², А. И. Каракаш², Л. В. Курносова¹,
М. Ф. Рунцо², А. П. Солдатов³, Н. П. Топчиев¹, М. И. Фрадкин¹,
С. К. Черниченко³, И. В. Шеин³

Для измерения энергетического спектра первичного гамма-излучения в энергетическом интервале 10–1000 ГэВ создается гамма-телескоп ГАММА-400. В качестве измерителя энергии планируется использовать семиплинговый калориметр с волоконным съемом информации, энергетическое разрешение которого в указанном интервале энергий достигает 1–2%. В гамма-телескопе ГАММА-400 определение прихода частицы производится системой сцинтилляционных счетчиков со светоприемниками Si-ФЭУ.

Гамма-излучение, регистрируемое на орбите Земли, несет информацию о процессах, происходящих как на астрофизических объектах нашей Галактики, так и на внегалактических объектах, где вещество может находиться в экстремальных условиях плотностей, температур, давлений, напряженностей магнитных полей и других физических параметров.

До настоящего времени прямые измерения спектра космического гамма-излучения проводились в широком диапазоне энергий от десятков и сотен кэВ до 30–50 ГэВ. Диапазон энергий космического гамма-излучения от 30 до 1000 ГэВ остается до сих пор неисследованным. В то же время измерения в этом диапазоне энергий позволят разрешить ряд важнейших научных вопросов, таких как

– наличие излома в наклоне спектра диффузного гамма-излучения, что должно дать решающие наблюдательные данные для выбора модели происхождения космического гамма-излучения и космических лучей в целом;

– вид энергетического спектра гамма-излучения дискретных источников как галактической, так и метагалактической природы, что позволит понять механизм генерации гамма-излучения, характеризуемого весьма большим энерговыделением;

– возможность детектирования спектральных гамма-линий, появляющихся при аннигиляции нейтрино, гипотетических суперсимметричных частиц, возможно, являющихся основной компонентой “темной материи” в Галактике и Вселенной в целом.

В настоящее время за рубежом ведутся работы по созданию приборов AGILE и GLAST. В России разрабатывается гамма-телескоп ГАММА-400 для проведения измерений в указанном диапазоне энергий 10–1000 ГэВ [1]. Один из вариантов ГАММА-400 показан на рис. 1. Основными структурными элементами телескопа являются две системы детекторов для выделения первичных частиц и определения направления их прихода (сцинтилляторы антисовпадений, времяпролетной системы и системы координатных детекторов), а также калориметр для измерения энергии первичных частиц. Наличие двух систем выделения падающих частиц симметризует телескоп и позволяет в 2 раза увеличить светосилу прибора, что весьма существенно с точки зрения статистической достоверности результатов, так как потоки гамма-квантов в изучаемом диапазоне энергий невелики.

Для измерения энергии регистрируемых частиц планируется использовать семиплинговый калориметр типа “Шашлык”, подобный разработанному в ГНЦ ИФВЭ для эксперимента “ФЕНИКС”, осуществляемого на ускорителе Брукхевенской лаборатории США [2]. Калориметр телескопа ГАММА-400 собирается из 25 отдельных модулей, структура которых показана на рис. 2. Модуль содержит 180–200 слоев, каждый из которых состоит из радиатора (свинец толщиной 0.55 мм), активного поглотителя (сцинтилляционный пластик толщиной 1.5 мм) и двух отражателей (белая бумага толщиной 0.12 мм). Возникающий в сцинтилляторах свет при помощи 144 спектросмещающих оптических волокон, пронизывающих все слои модуля, поступает на фотокатод фотоумножителя ФЭУ-115М и интегральный сигнал подается в электронную систему измерений.

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва.

² Московский инженерно-физический институт.

³ Институт физики высоких энергий, Протвино.

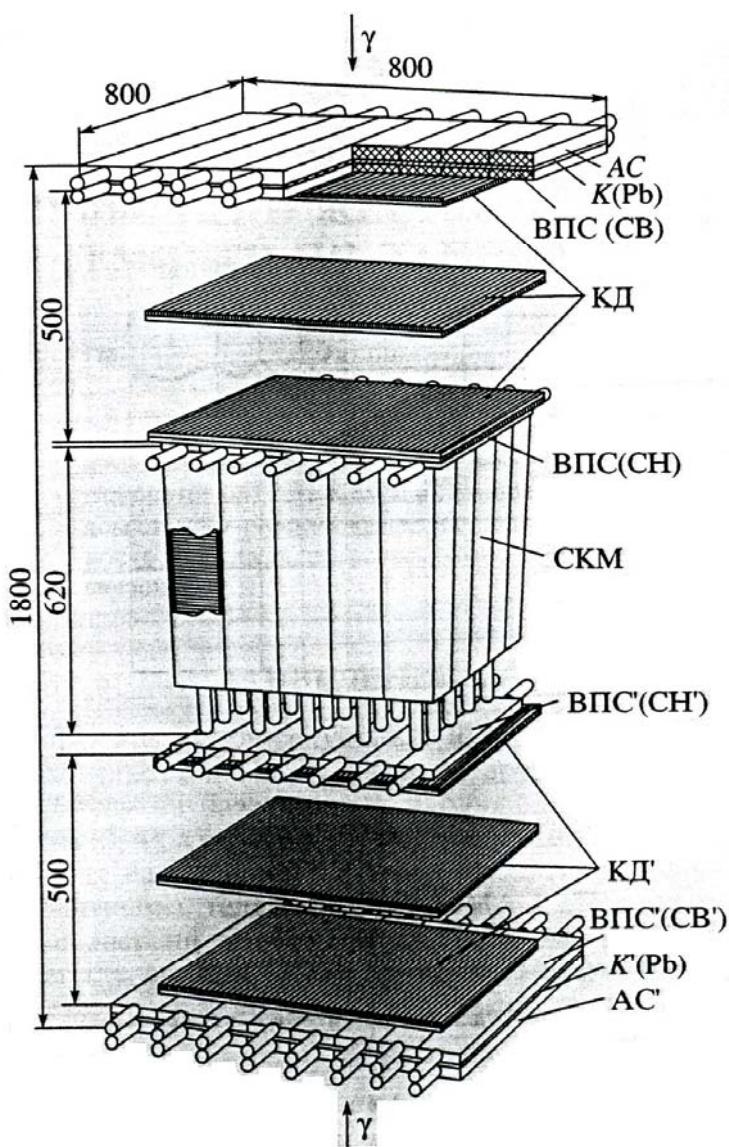


Рис. 1. Структурная схема гамма-телескопа “ГАММА-400”.

Выполненный модельный расчет измерения энергии гамма-квантов при помощи такого калориметра суммарной толщиной 18 радиационных единиц позволит получить сведения об энергетическом разрешении и эффективности регистрации фотонов в диапазоне 100–1000 ГэВ. Погрешность определения энергии вблизи 1 ТэВ равна 1.8%.

Технические решения, заложенные в конструкцию модуля семиплингового калориметра, обеспечивают создание образца, который может быть использован при проведении эксперимента на космическом аппарате.

В состав системы выделения попадающих в телескоп частиц входят, как указано выше, координатные детекторы. Координатная система состоит из трех идентичных блоков, в каждом из которых имеются два слоя детекторов, собранных из длинных сцинтилляционных брусков сечением $10 \times 10 \text{ mm}^2$. Оси сцинтилляторов в двух слоях блока ориентированы взаимно перпендикулярно, что

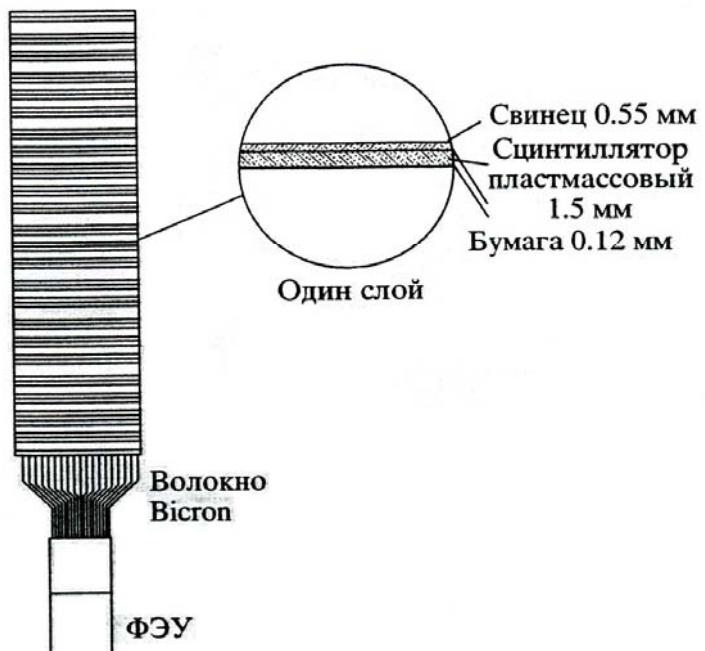


Рис. 2. Структура одного модуля семиплингового калориметра.

позволяет получать информацию в каждом из трех блоков о двух координатах следа заряженной частицы.

Для регистрации световой вспышки, создаваемой заряженной частицей в сцинтилляторе, планируется применить твердотельные (кремниевые) светочувствительные элементы (Si-ФЭУ), которые в настоящее время разрабатываются в нашей стране коллаборацией SiPM (сотрудники МИФИ и предприятия “Пульсар”) [3]. Отдельный Si-ФЭУ представляет собой совокупность большого числа (порядка 10^3 на 1 mm^2) лавинных фотодиодов (пикселей), функционирующих не в пропорциональном, а в гейгеровском режиме, при котором регистрация даже одного фотона дает на выходе стандартный сигнал достаточно большой амплитуды. Схематическое изображение Si-ФЭУ показано на рис. 3.

Амплитуда выходного сигнала S , пропорциональная числу сработавших пикселей $N_{\text{ср}}$ в зави-

Таблица

Параметр	Вакуумный фотоумножитель	Твердотельный ФЭУ (Si-ФЭУ)
Напряжение питания	1–2 кВ	25 В
Коэффициент усиления	10^6 – 10^7	10^6
Порог чувствительности	1 фотоэлектрон	1 фотоэлектрон
Временное разрешение	30–100 пс	30 пс
Возможность работы в магнитном поле	Ограничена	Без ограничений

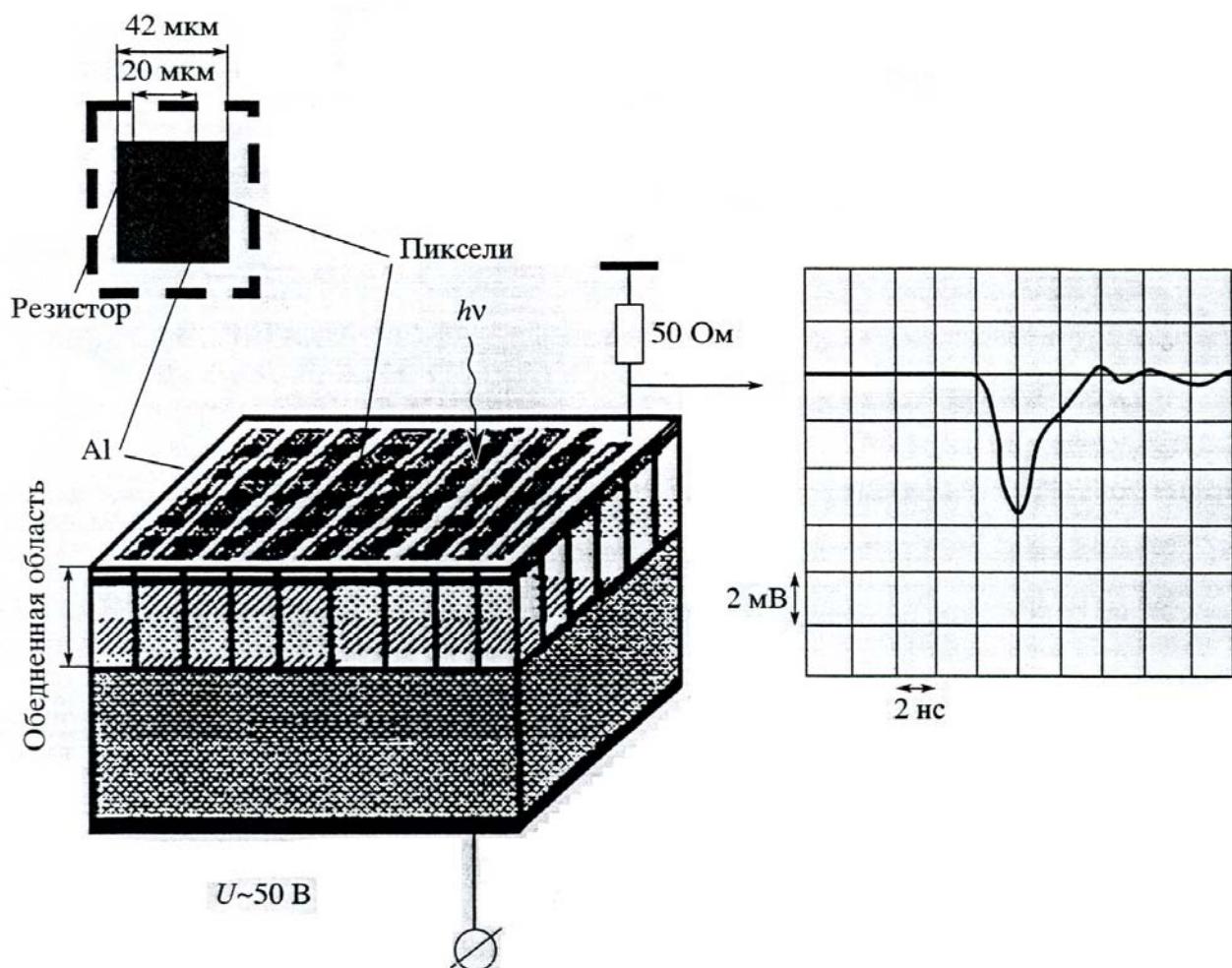


Рис. 3. Строение твердотельного фотоприемника Si-ФЭУ, предназначенного для координатной системы гамма-телескопа "ГАММА-400".

симости от полного числа пикселей m в фотоумножителе, интенсивности световой вспышки $N_{\text{фот}}$ и эффективности регистрации фотона ε определяется выражением

$$S \equiv N_{\text{ср}} = m(1 - \exp\{-N_{\text{фот}}\varepsilon/m\}).$$

Твердотельный Si-ФЭУ по своим параметрам вполне конкурентоспособен с обычными вакуумными ФЭУ, что иллюстрирует таблица.

Включение в состав гамма-телескопа ГАММА-400 семиплингового калориметра с хорошим энергетическим разрешением и использование разработанных в последние годы твердотельных светоприемников Si-ФЭУ заметно улучшают детектирующую систему гамма-телескопа. В настоящее время продолжаются работы по созданию

соответствующих систем измерения и управления телескопа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург В.Л., Курносова Л.В. и др. Исследование гамма-излучения в энергетическом диапазоне 10–1000 ГэВ. Проект ГАММА-400. Отчет НИР за 1996 г., М., 1997, зарегистр. ВНИЦ, инв. № 029.70.02308.
2. Мельников Е.А. Оптимизация, реализация и исследование электромагнитного калориметра установки PHENIX: Автореф. диссертации на соискание степени канд. физ.-мат. наук. Протвино: ГНЦ ИФВЭ, 1997.
3. CERN Courier, March 2003, NEWS. Silicon photomultiplier demonstrates its capabilities.