

УДК 629.7.001.5:52

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ γ -ТЕЛЕСКОП “ГАММА-400” ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО γ -ИЗЛУЧЕНИЯ С ЭНЕРГИЯМИ ДО 3 ТэВ

© 2009 г. В. Л. Гинзбург¹, В. А. Каплин², М. Ф. Рунцов², Н. П. Топчиев¹, М. И. Фрадкин¹

E-mail: tnp51@rambler.ru

Приведены результаты расчетов и измерений, проведенных на макетах калориметра, времяпролетной и координатной систем модернизированного варианта γ -телескопа ГАММА-400, предназначенного для исследования космического диффузного γ -излучения и поиска γ -линий, возникающих при аннигиляции нейтралино (частиц темной материи).

Основные научные цели проекта ГАММА-400 [1–3]: измерение спектра диффузного γ -излучения в области энергий 30–3000 ГэВ, где до сих пор не было прямых измерений, и поиск γ -линий, возникающих при аннигиляции нейтралино (частиц “темной материи”). Характеристики разрабатываемого γ -телескопа позволяют решить эти задачи. Однако в ходе выполнения научно-исследовательских работ были выявлены дополнительные возможности для увеличения светосилы и разрешающей способности прибора. Модернизация γ -телескопа улучшает его метрологические характеристики, что позволяет расширить энергетический диапазон регистрируемых γ -квантов и проводить работу по поиску γ -всплесков высокой энергии.

1. МОДЕРНИЗАЦИЯ γ -ТЕЛЕСКОПА ГАММА-400

В процессе проведения работ по привязке γ -телескопа к космическому аппарату были выявлены возможности увеличения площади семплингового калориметра (СКМ), являющегося ядром γ -телескопа. Число модулей СКМ увеличивается с 25 до 36. Поперечное сечение калориметра достигает 660×660 мм² вместо 550×550 мм². Меняется “семплинговость” в каждом модуле: толщина свинцового слоя в элементе (сборка из слоев свинца, полистирола и бумаги) составит 0.275 мм (0.05 р.е.д.) вместо 0.55 мм (0.1 р.е.д.), возрастает число элементов до 400, что соответствует 20 р.е.д. Проведенные исследования и калибровки [4] показывают, что в этом случае можно довести энергетическое разрешение калориметра до 1.5%. При этом в γ -телескопе ГАММА-400 (рис. 1) изменяются размеры антисовпадательных и управляющих детекторов и светосила γ -телескопа увеличивается в два

раза. Это позволяет при регистрации γ -квантов диффузного излучения в направлении на центр Галактики увеличить статистику измерений и тем самым расширить энергетический диапазон γ -квантов, регистрируемых γ -телескопом. Сравнение характеристик γ -телескопов ГАММА-400 (до модернизации) и ГАММА-400М (после модернизации), а также основные параметры прибора приведены в таблице.

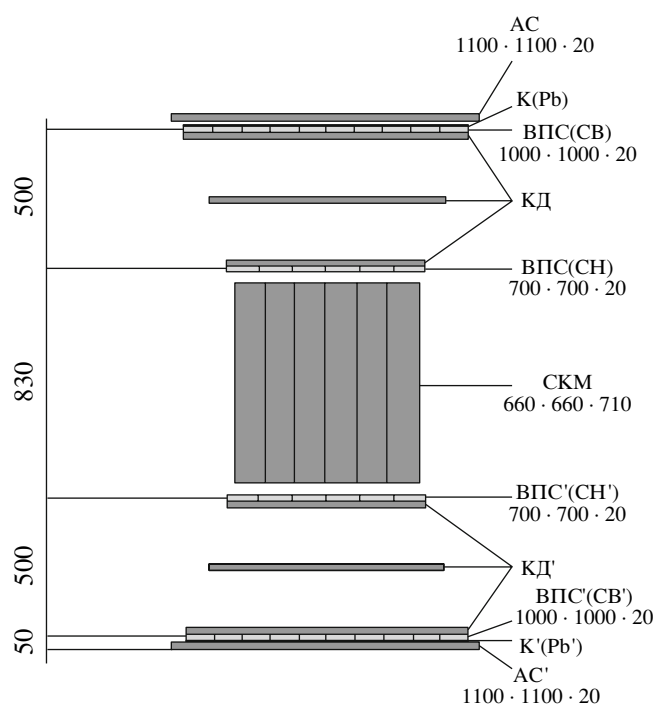


Рис. 1. Модернизированный вариант γ -телескопа ГАММА-400. АС – антисовпадательный сцинтилляционный детектор, К(Рб) – свинцовый конвертор, ВПС – времяпролетная система, СВ – верхний сцинтилляционный детектор ВПС, СН – нижний сцинтилляционный детектор ВПС, КД – координатные детекторы, СКМ – семплинговый сцинтилляционный калориметр. Штрихи – детекторы второго комплекта системы отбора.

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

² Московский инженерно-физический институт (государственный университет).

Таблица

Параметр	ГАММА-400	ГАММА-400М
	Гамма-телескоп	
Диапазон энергий	30–1000 ГэВ	30–3000 ГэВ
Геометрический фактор	0.92 м ² · ср	1.96 м ² · ср
Угловое разрешение	1°–2°	1°–2°
Временное разрешение	0.6 нс	0.6 нс
Координатное разрешение	1–2 см	1–2 см
Площадь АС	800 × 800 мм ²	1100 × 1100 мм ²
Площадь СВ ВПС	800 × 800 мм ²	1000 × 1000 мм ²
Площадь СН ВПС	600 × 600 мм ²	700 × 700 мм ²
Расстояние между СВ и СН	500 мм	500 мм
Масса	1200 кг	1700 кг
Объем информации	500 Мбайт/сут	500 Мбайт/сут
Энергопотребление	500 Вт	800 Вт
Время функционирования	Не менее 5 лет	Не менее 5 лет
Оценка статистики измерений диффузного γ -излучения в направлении на центр Галактики (время наблюдения 1 год, показатель спектра $k = 2.6$)		
$E_\gamma > 1000$ ГэВ	38	81
$E_\gamma > 2000$ ГэВ	13	27
$E_\gamma > 3000$ ГэВ	7	14
	Калориметр (СКМ)	
Площадь калориметра	550 × 550 мм ²	660 × 660 мм ²
Масса калориметра	615 кг	820 кг
Число модулей	25	36
Толщина калориметра	18 р.е.д.	20 р.е.д.
Энергетическое разрешение ($E_\gamma = 1$ ТэВ)	2.5%	1.5%
	Модуль калориметра	
Площадь модуля	110 × 110 мм ²	110 × 110 мм ²
Длина модуля	370 мм	700 мм
Масса модуля	17 кг	23 кг
Толщина модуля	18 р.е.д.	20 р.е.д.
Число элементов	180	400
	Элемент модуля (свинец + полистирол + бумага)	
Толщина свинца	0.55 мм (0.1 р.е.д.)	0.275 мм (0.05 р.е.д.)
Толщина полистирола	1.5 мм	1.5 мм

2. ОТРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ СОБЫТИЙ С “ОБРАТНЫМ ТОКОМ”

При измерении γ -квантов высокой энергии (более 30–50 ГэВ) велика вероятность регистрации антисовпадательным детектором (АС) частиц альбеда, возникающих в калориметре при прохождении через него электромагнитного ливня (“обратный ток”). В этом случае АС вырабатывает сигнал блокировки такой же, как в случае регистрации первичной заряженной частицы. При энергии выше 100 ГэВ доля таких событий приближается к

100%, т.е. в этом диапазоне энергий прибор перестает выделять γ -кванты из потока всех частиц (заряженных и нейтральных).

Для предотвращения блокировки γ -телескопа частицами альбеда излучения разработан временной метод, основанный на измерении временного интервала между срабатыванием АС и СН (нижний сцинтилляционный детектор) [5]. При пролете заряженной частицы АС срабатывает с некоторым опережением относительно СН. При регистрации первичного γ -кванта вначале от электрон-позитронной пары конверсии, которая летит

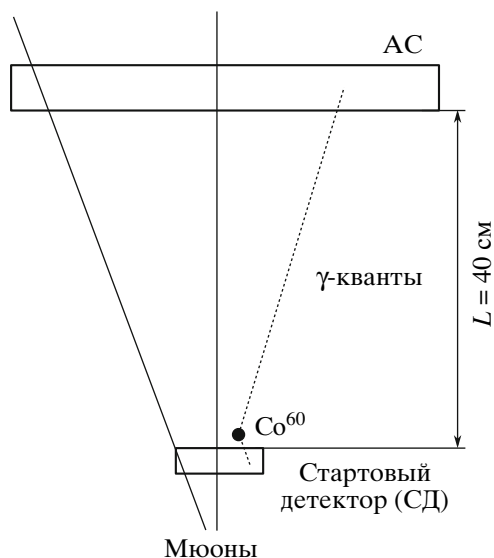


Рис. 2. Блок-схема установки имитации альбедных событий.

в направлении калориметра, срабатывает СН, а альбедная частица из калориметра, летящая в обратном направлении, может проконвертировать в АС и имитировать заряженную частицу. В последнем случае сигнал с АС задержан относительно сигнала в АС при прохождении заряженной частицы на время $t = 2L/c$, где L — расстояние между АС и калориметром, c — скорость света.

Экспериментальная проверка предложенного метода выделения событий, связанных с “обратным током”, проводилась на специально собранной установке (рис. 2), позволяющей проимитировать эффект альбеда [5]. Для этой цели на поверхности стартового детектора (СД) размещается источник Co^{60} , при распаде которого излучаются два γ -кванта. События, в которых один из фотонов конвертирует в СД, а другой в АС, считаются альбедными, а совпадения сигналов в АС и СД в отсутствие Co^{60} при регистрации мюонов соответствуют первичным заряженным частицам. Для каждого события измерялось время между срабатыванием СД и АС и строились временные спектры, показанные на рис. 3. Как видно, события двух видов хорошо разделяются.

3. ДОПОЛНЕНИЕ НАУЧНОЙ ПРОГРАММЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поскольку проектируемая космическая обсерватория ГАММА-400 обладает большими потенциальными возможностями, целесообразно рассмотреть вопрос о расширении научной программы исследований. Большой интерес представляет проблема γ -всплесков, которые уже 40 лет наблю-

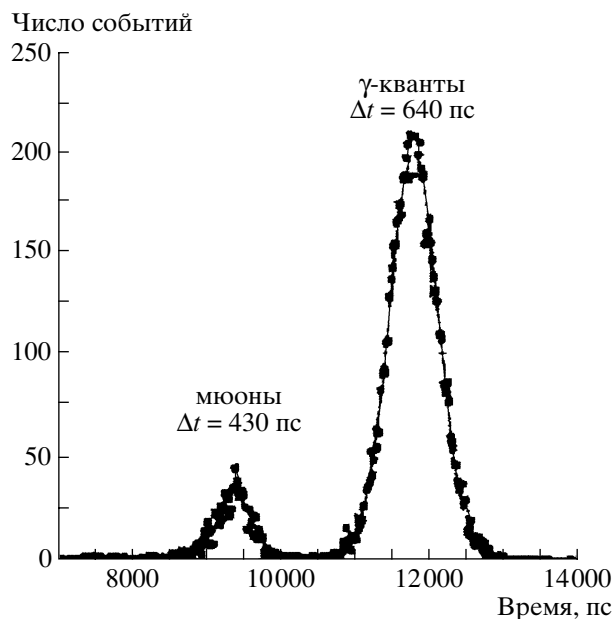


Рис. 3. Временные спектры регистрации мюонов и γ -квантов.

даются в интервале от нескольких кэВ до десятков МэВ, механизм появления которых не известен. Наблюдения γ -телескопом EGRET позволили зарегистрировать коррелированные с γ -всплесками малой энергии γ -кванты с энергией до 18 ГэВ [6]. В связи с этим можно при проведении измерений на обсерватории ГАММА-400 осуществить поиск корреляций между регистрируемым γ -всплеском и высокоэнергичным γ -излучением. Для осуществления таких исследований на космической обсерватории может быть установлен прибор для регистрации γ -всплесков (типа “Конус”), сигнал с которого будет триггером системы временного анализа импульсов от γ -телескопа ГАММА-400.

Работа выполнялась в соответствии с Федеральной космической программой РФ на 2006–2015 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург В.Л., Курносова Л.В., Разоренов Л.А. и др. Препринт № 3. Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва. 1995. С. 54.
2. Гинзбург В.Л., Каплин В.А., Каракаш А.И. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2005. Т. 69. № 3. С. 428.
3. Гинзбург В.Л., Каплин В.А., Каракаш А.И. и др. // Космич. исслед. 2007. Т. 45. № 5. С. 475.
4. Харлов Ю.В. и др. Препринт 2008-21. Институт физики высоких энергий, Протвино. 2008.
5. Каплин В.А., Руңцо М.Ф., Топчиев Н.П., Фрадкин М.И. // Научная сессия МИФИ-2008. М.: МИФИ, 2008. Т. 9. С. 150.
6. *Schneid E.J., Bertsch D.L., Fichtel C.E. et al.* // *Astron. and astrophys.* 1992. V. 255. P. L13.