

УДК 523.165

© 1997 г. В.Л. ГИНЗБУРГ, Л.В. КУРНОСОВА, А.Г. ЛАБЕНСКИЙ,  
Н.П. ТОПЧИЕВ, М.И. ФРАДКИН, В.А. КАПЛИН, Д.В. КАПЛИН,  
В.А. ЛОГИНОВ, Е.Ф. МАКЛЯЕВ, М.Ф. РУНЦО, Е.В. ГОРЧАКОВ

### К ВОПРОСУ О РОЛИ АЛЬБЕДО ИЗ КАЛОРИМЕТРА ТЕЛЕСКОПА "ГАММА-400" ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ПЕРВИЧНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Проводится анализ влияния альбедного излучения от калориметра на работу гамма-телескопа "Гамма-400" при регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией 10–1000 ГэВ и предлагаются методы снижения влияния этого излучения на результаты измерений.

В гамма-телескопах, разрабатываемых для диапазона энергий десятки – сотни ГэВ, регистрация  $\gamma$ -квантов существенно осложняется наличием альбедного излучения или "обратного тока" (ОТ) от калориметра при развитии в нем электромагнитных каскадов от регистрируемых частиц. Частицы ОТ влияют на работу детекторов, расположенных над калориметром, в частности могут вызывать срабатывание антисовпадательных детекторов (АС), обычно используемых в гамма-телескопах для разделения заряженных частиц и  $\gamma$ -квантов, и блокировать запуск прибора. Это приводит к просчету  $\gamma$ -квантов, причем доля просчетов растет с увеличением энергии регистрируемых  $\gamma$ -квантов.

Гамма-телескоп "Гамма-400", разработанный для космического аппарата "Ника-И" [1] и предназначенный для регистрации космического гамма-излучения в диапазоне энергий 10–1000 ГэВ, имеет вес около 700 кг, площадь наибольшего детектора 800×800 мм<sup>2</sup> и состоит из следующих основных элементов:

- сцинтилляционного антисовпадательного детектора (АС);
- свинцового конвертора (К) толщиной до одной радиационной единицы;
- времяпролетной системы (ВПС), включающей два сцинтилляционных детектора СВ и СН, разнесенных на расстояние 600 мм;
- системы координатных детекторов (КД);
- калориметра (КМ).

Гамма-телескоп работает следующим образом.  $\gamma$ -Квант без взаимодействия проходит детектор АС, в конверторе преобразуется в электронно-позитронную пару (или в каскад с большим количеством частиц). Образованные заряженные частицы регистрируются детекторами ВПС, КД и КМ. В состав гамма-телескопа введена система регистрации событий с "обратным током" (СОТ), которая блокирует действие АС при срабатывании его от частиц ОТ. Система съема и записи информации при регистрации  $\gamma$ -кванта запускается следующим мастерным сигналом:

$$M = \text{ВПС} \wedge (\overline{\text{СОТ}} \wedge \overline{\text{АС}}) \wedge \overline{\text{КМ}} = [(\text{ВПС} \wedge \overline{\text{АС}}) \vee (\text{ВПС} \wedge \text{СОТ})] \wedge \overline{\text{КМ}}.$$

Определение характеристик ОТ и анализ его влияния на работу прибора проводились в модельных экспериментах с помощью программного пакета GEANT3.14.

"Обратный ток" от калориметра содержит в основном  $\gamma$ -кванты со средней энергией около 1 МэВ (число электронов на два порядка меньше). Число  $\gamma$ -квантов ОТ,

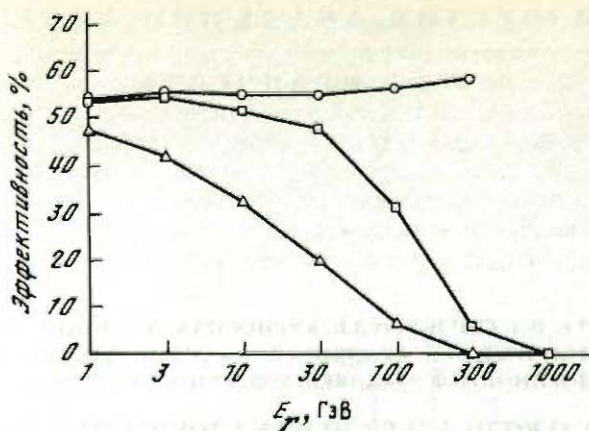


Рис. 1. Зависимость эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов гамма-телескопом "Гамма-400" от их энергии:  $\circ$  – без калориметра,  $\Delta$  – порог АС 100 кэВ,  $\square$  – порог АС 1 МэВ (случай "без калориметра" соответствует отсутствию "обратного тока")

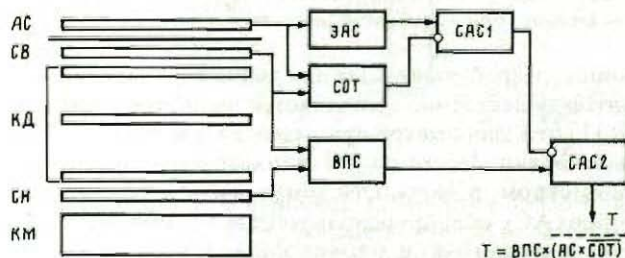


Рис. 2. Схема выделения событий с "обратным током" по задержке времени срабатывания детектора АС относительно детектора СВ

вылетающих из калориметра, растет с энергией первичного  $\gamma$ -кванта и составляет около 30 квантов при 10 ГэВ и 500 при 1000 ГэВ (для  $\gamma$ -квантов ОТ с энергией выше 50 кэВ). Эта зависимость описывается функцией  $N_{\text{ОТ}} \sim E^k$ , где  $k \approx 0,6$ , что хорошо согласуется с результатами работы [2]. Энерговыделение в детекторе АС при этом возрастает с 0,7 МэВ при энергии первичного  $\gamma$ -кванта 30 ГэВ до 8 МэВ при 1000 ГэВ.

На рис. 1 показана зависимость эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов телескопом "Гамма-400" при выключенной системе регистрации событий с ОТ. Из рисунка видно, что без применения специальных мер регистрация  $\gamma$ -квантов возможна только до энергии  $\approx 100$  ГэВ.

Разделение событий, связанных с регистрацией в АС заряженных частиц фонового излучения или фотонов ОТ, может осуществляться по следующим признакам:

- по координатам сцинтилляций в АС (фоновые частицы вызывают сцинтилляцию в точке, лежащей на основном треке события);
- по амплитудам сцинтилляций в АС (фоновые частицы дают большое энерговыделение в одной точке – 6 МэВ при толщине АС 3 см, а частицы ОТ – энерговыделения в нескольких точках по  $\approx 1$  МэВ каждое, причем их суммарное энерговыделение до энергии первичного  $\gamma$ -кванта  $\sim 100$  ГэВ ниже, чем для фонового события);
- по времени запаздывания возникновения сцинтилляции в АС относительно детектора СВ (импульс в АС для фоновых заряженных частиц почти синхронен с импульсом в СВ, а для первичного  $\gamma$ -кванта с ОТ задержан на время пролета релятивистской частицы от СВ до КМ и обратно).

Рассмотрим возможности применения каждого из этих методов: координатного, амплитудного и временного.

Поскольку для реализации координатного метода требуется наличие довольно высокого координатного разрешения, его реализация потребует существенного усложнения прибора. Амплитудный метод, как было показано выше, примененный самостоятельно, перестает работать при высоких энергиях первичных  $\gamma$ -квантов. Наилучших результатов можно достигнуть, применяя временной метод.

На рис. 2 представлена схема выделения событий, связанных с регистрацией  $\gamma$ -квантов с обратным током. В этой схеме детектор АС наряду с высокой эффективностью (более 99,999%) должен обладать хорошим временным разрешением ( $< 1$  нс при регистрации однозарядной релятивистской частицы). Сцинтилляционные импульсы с детектора АС поступают в два канала, обладающих равными порогами регистрации. Один (ЭАС) блокирует через схему антисовпадений САС2 срабатывание телескопа при пролете через АС заряженной частицы. Второй (канал СOT) включен совместно с детектором СВ во времяпролетную систему СOT и отбирает события, соответствующие задержке срабатывания АС относительно СВ на  $4 \pm 2$  нс. Таким образом, при пролете заряженной частицы канал ЭАС срабатывает и блокирует выработку триггерного сигнала. Если ЭАС сработал от частиц OT, то вырабатывается сигнал СOT, который в свою очередь через схему антисовпадений САС1 блокирует сигнал с ЭАС, и сигнал ВПС запускает систему регистрации событий гамма-телескопа.

Работа системы СOT ухудшается с ростом энергии первичного  $\gamma$ -кванта, так как возрастает доля событий, в которых одновременно несколько фотонов OT попадают в детектор АС и нарушают условия времякоординатной компенсации. Для повышения степени разделения фоновых заряженных частиц и  $\gamma$ -квантов в приборе "Гамма-400" предлагается применить комбинацию всех трех методов, при этом детектор АС разделяется на несколько полос, что снижает загрузку каждой из них фотонами OT, уменьшает число случаев попадания нескольких фотонов в одну полосу детектора АС и снижает амплитуду импульсов с отдельных секций АС от частиц OT. При наземной обработке событий можно применить двумерный анализ событий по параметрам  $A-\Delta T$  (амплитуда – временной интервал в СOT). Форма областей на диаграмме  $A-\Delta T$ , соответствующих фоновым частицам и частицам OT, меняется при изменении числа полос в детекторе АС и может быть оптимизирована.

Эффективность детектора АС может быть существенно повышена введением второго детектора АС1, включенного по "ИЛИ" с детектором АС. Наличие двух детекторов АС позволяет также провести измерение эффективности регистрации событий с помощью системы СOT и обеспечить перекрытие щелей между полосами одного детектора другим детектором.

Работа выполнялась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 96-02-18816).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург В.Л., Каплин В.А., Курносова Л.В. и др. Препринт ФИАН № 3. М., 1995. 54 с.
2. Kobayashi M., Carlson P., Berglund S. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A. 1991. V. 302. P. 47.

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

Московский инженерно-физический институт (Технический университет)

Научно-исследовательский институт  
ядерной физики им. Д.В. Скобельцына  
Московского государственного университета  
им. М.В. Ломоносова