

БФИ-732(47)-84

индекс 3624

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

Р.О.АВАКЯН, Н.З.АКОПОВ, С.М.ДАРБИНЯН, Б.И.ЛУЧКОВ,  
О.В.ТЕРЕХОВ, В.Ю.ТУГАЕНКО

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ГАММА-ТЕЛЕСКОПА  
С МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ КОНВЕРТОРОМ



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕРЕВАН-1984

R.O.AVAKIAN, N.Z.AKOPOV, S.M.DARBINIAN,  
B.I.LUCHKOV\*, O.V.TEREKHOV\*, V.YU.TUGAENKO\*

ON THE POSSIBILITY OF CONSTRUCTING  
A MONOCRYSTALLINE CONVERTER GAMMA-TELESCOPE

The possibility of using a monocrystalline converter in telescopes for high-energy gamma-astronomy is analyzed. The accuracy of the gamma source angular coordinate measurement is estimated by means of the Monte Carlo simulation of  $\gamma$ -quanta detection process. Calculations have been carried out for the silicon crystalline converter for 500 MeV monochromatic  $\gamma$ -quanta with the accuracy of the angular coordinate of the source being  $\sim 30'$ . It is shown that the monochromaticity does not essentially distort the typical orientation dependence of the cross section of  $e^+e^-$ -pair production in a crystal.

Yerevan Physics Institute  
Yerevan 1984

\* Moscow Institute of Physical Research

Современные гамма-телескопы, предназначенные для регистрации  $\gamma$ -квантов высоких энергий ( $10^1 - 10^4$  МэВ), представляют собой сложные технические сооружения. В гамма-телескопах, использующих искровые камеры, достигнута угловая точность  $\Delta\varphi = 2 - 4^\circ$  [1,2]. Наиболее перспективным методом улучшения углового разрешения считается метод кодирования апертуры [3], применение которого в новых проектируемых приборах позволит довести угловую точность до значения  $\Delta\varphi \approx 20'$  [4].

Однако, несомненный интерес представляет поиск других возможностей улучшения углового разрешения приборов, упрощения их конструкции и методов обработки полученной информации. В работе [5] были рассмотрены методы повышения углового разрешения гамма-телескопов. В качестве ориентированной мишени предлагалось использовать кристаллы, плоскости решетки которых играли бы роль пластин-конверторов.

В настоящей работе анализируется возможность использования монокристаллического конвертора в телескопах для гамма-астрономии высоких энергий.

### Ориентационная зависимость сечения рождения электронно-позитронных пар $\gamma$ -квантами в монокристалле

Применение монокристаллического конвертора в гамма-телескопе основано на использовании специфической зависимости сечения рождения электронно-позитронной пары ( $e^+e^-$ ) от угла влета  $\gamma$ -кванта в монокристалл. Давно известно, что при прохождении  $\gamma$ -квантов через вещество наблюдаются эффекты, связанные с периодичностью структуры [6]. Характерные энергии, с которых проявляются особенности сечения, — несколько сотен мегаэлектрон-вольт. Ориентационные эффекты наблюдались экспериментально [7,8] для тонких образцов монокристаллов (порядка тысячных долей радиационной длины). Однако учитывая, что в настоящее время выращиваются образцы большого размера и высокого качества, не видно препятствий в использовании этих эффектов и для толстых образцов (порядка радиационной длины).

Были рассчитаны сечения рождения  $e^+e^-$  - пар  $\beta$  в монокристаллах алмаза и кремния [9]. Алмаз брался как модельный кристалл, на котором когерентные эффекты проявляются наиболее ярко. Исследовалась зависимость сечения  $\beta(\theta)$  от угла падения  $\gamma$ -квантов в плоскости (001) относительно оси [110]. На рис. 1 приведены зависимости дифференциальных сечений параобразования в кремнии и алмазе при различных энергиях  $\gamma$ -квантов.

#### Метод определения координат гамма-источника

В настоящее время схема телескопа для регистрации  $\gamma$ -квантов высокой энергии стала традиционной. Телескоп содержит ряд

тонких конверторов, в которых происходит рождение  $e^+e^-$  пар  $\gamma$ -квантом. Набор сцинтилляционных и черенковских счетчиков, расположенных под конвертором, служит для выделения акта взаимодействия  $\gamma$ -кванта с веществом конвертора и выработки "мастерского" сигнала на запуск трековых детекторов (искровых камер), которые фиксируют траекторию  $e^+e^-$  - пары.

Если в качестве конвертора использовать монокристалл, то телескоп приобретает характерную угловую направленность, определяемую свойствами монокристалла и совпадающую с  $\beta(\theta)$ . Следовательно, для определения положения источника  $\gamma$ -квантов применим метод сканирования по области, где находится изучаемый источник. При этом регистрируется поток  $\gamma$ -квантов и измеряется его зависимость от ориентации кристаллографической оси. Зная функцию угловой направленности телескопа, определяют угловые координаты источника.

#### Оценка точности метода

Оценка точности измерения координаты источника проводилась путем моделирования процесса регистрации  $\gamma$ -квантов методом Монте-Карло. Разыгрывалось одномерное положение источника. Предполагалось, что он точечный, монохроматический ( $E_\gamma = 500 \text{ МэВ}$ ) и известно его положение с точностью  $2^\circ$ . Расчеты проводились для кристалла кремния. Ось прибора, совпадающая с кристаллографической осью, направлялась в заданные точки, и вблизи этих точек проводилось равномерное сканирование. После набора статистики в данном интервале углов ось направлялась в другую точку и процедура сканирования повторялась. Полученное распределе-

ние числа зарегистрированных  $e^+e^-$ - пар от угла ориентации оси телескопа  $N(\varphi)$  приведено на рис.2. Полное число зарегистрированных  $\gamma$ -квантов  $N = 10^3$ .

Алгоритм определения положения источника состоит в следующем: полученное распределение  $N(\varphi)$  нормируется таким образом, чтобы площадь под ним совпадала с площадью под функцией угловой направленности телескопа, после чего проводится сравнение с функцией  $B(\theta)$ . В качестве критерия сравнения функций  $N(\varphi)$  и  $B(\theta)$  выбрана площадь их перекрытия  $S_{пер}$ . За измеренное положение источника выбиралось такое, при котором  $S_{пер}$  достигала максимума. В результате многократного повторения описанной выше процедуры было получено распределение измеренных координат, показанное на рис.3. Точность метода, определяемая стандартным отклонением, составляет  $\sim 30'$ . Для алмаза, при той же статистике, точность метода составила  $\sim 10'$ .

Оценим, какое время потребуется телескопу площадью  $1 \text{ м}^2$  с эффективностью 0,5 для регистрации  $N$   $\gamma$ -квантов с энергией больше 500 МэВ. Выберем источник Дебель ХЗ [10] один из самых интенсивных источников  $\gamma$ -квантов, интегральный поток которого для энергий больше 500 МэВ составляет  $\sim 4 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Считая, в первом приближении, распределение пар по параметру  $Y$  равновероятным и отбирая пары с  $Y = 0,5 \pm 0,1$ , получим время, необходимое для набора статистики  $10^3$  пар. Оно составляет  $\sim 70 \text{ ч}$ .

Для оценки влияния немонохроматичности источника проводились следующие расчеты: моделировался пучок  $\gamma$ -квантов, энергия в котором подчинялась нормальному распределению со стандартным отклонением 30% и средним значением  $\bar{E}_\gamma = 1 \text{ ГэВ}$ . Рас-

считывалась функция угловой направленности. Результаты приведены на рис.4. Видно, что немонохроматичность пучка существенно не "замазывает" характерную зависимость вероятности регистрации  $\gamma$ -кванта от угла падения относительно оси телескопа.

#### Заключение

В настоящей работе предложен метод определения координат источника  $\gamma$ -квантов, основанный на использовании монокристаллического конвертора. Проведена оценка точности метода в случае использования кристалла кремния для энергии  $E_\gamma = 500 \text{ МэВ}$ . Недостатком метода следует считать то, что он эффективно работает при больших энергиях, где потоки от известных гамма-источников сравнительно малы.

Однако нельзя не отметить и его достоинства. Телескоп, построенный на этом принципе, не нуждается в трековом детекторе, как приборе для измерения направления проконвертированного  $\gamma$ -кванта. Трековый детектор может использоваться только для улучшения идентификации событий, при этом требования к нему существенно смягчаются. В результате телескоп может иметь большую площадь и обладать эффективными (толстыми) конверторами, так как в данном случае многократное рассеяние компонент  $e^+e^-$ -пары не влияет на точностные характеристики прибора. Кроме того, обработка и эксплуатация такого телескопа будет более простой в связи с тем, что точностные свойства прибора определяются только структурой кристаллической решетки.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Зависимость сечения рождения  $e^+e^-$ - пар  $\gamma$ -квантами в монокристаллах алмаза и кремния от угла  $\theta$  между направлением падения и осью [110] при различных энергиях  $\gamma$ -квантов. Импульс фотона лежит в плоскости (001). Величина сечения приведена в единицах сечения в аморфном веществе  $\gamma = E_e/E_\gamma = 0,5$

Рис.2 Зависимость числа  $N$  зарегистрированных  $e^+e^-$ - пар от угла  $\varphi$ -ориентации оси телескопа (условные координаты) при  $E_\gamma = 500$  ГэВ

Рис.3 Распределение ошибок измеренных координат источника.  
 $\theta_3$  - экспериментально измеренное положение источника,  
 $\theta_n$  - истинное положение источника

Рис.4 Зависимость сечения рождения  $e^+e^-$ - пар  $\gamma$ -квантами в монокристалле кремния от угла  $\theta$  между направлением падения и осью [110] при немонахроматичном пучке  $\gamma$ -квантов

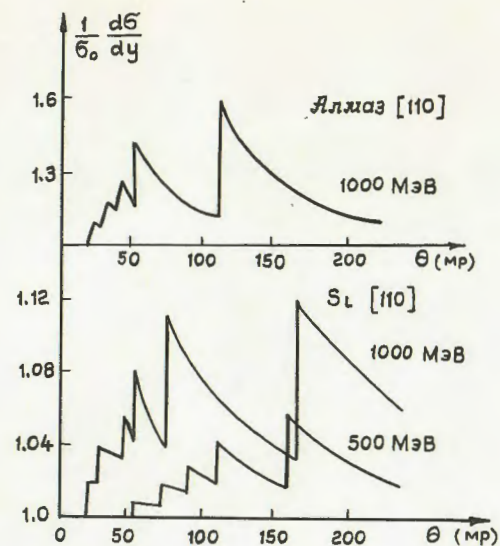


Рис.1

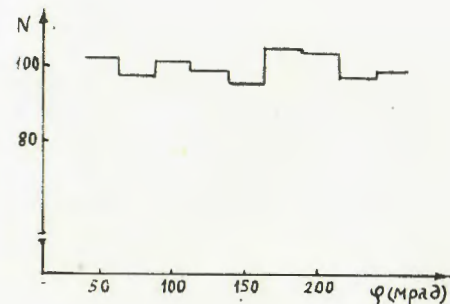


Рис.2

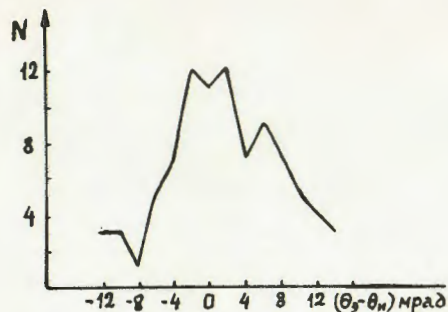


Рис. 3

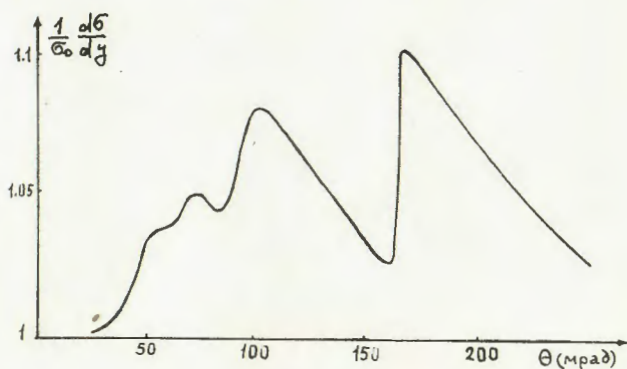


Рис. 4

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fichtel C.E., Hartman R.C., Kniffen D.A. High-Energy Gamma-Rays Results from the Second Small Astronomy Satellite-*Astrophys. J.*, 1975, vol.198, N.1, p.163-181.
2. Bignami G.F., Boella G., Buccheri R. et al.- The COS-B Experiment and Mission.- *Proc.12-th Eslab.Symp.*, 1977,p.3
3. Prilutsky O.F.- *Proc. 22-th COSPAR Session, Bangalor*, 38, 1979.
4. Гальпер А.М., Лазарев С.А., Лучков Б.И. и др. Гамма-телескоп с высоким угловым разрешением. Элементарные частицы и космические лучи. Сборник статей, вып.5/Под ред.Котова Ю.Д., Голубкова Ю.А. М.: Атомиздат, 1980, с.58-64.
5. Гальпер А.М., Курочкин А.В., Лейков Н.Г. и др. О повышении углового разрешения гамма-телескопов. *Астрономический журнал*, 1980, т.57, вып.2, с.427-432.
6. Тер-Микаэлян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. Издательство АН Арм ССР, Ереван , 1959.
7. Bologna G., Diambri G., Murtas G.P. Electron Pair Production at High-Energy in a Silicon Single Crystal *Phys. Rev.Lett.*, 1960, 4, N.3, p.134-135.
8. Bologna G., Diambri G., Murtas G.P. High-Energy Bremsstrahlung from a Silicon Single Crystal.-*Phys.Rev.Lett.*, 1960, vol.4 ,N.11, p.572-575.

9. Авакян Р.О., Акопов Н.З., Дарбинян С.М., Отанесян К.М.  
Сравнительные спектры и полные сечения образования пар  
фотонами в различных кристаллах. Препринт ЕФИ-62I(II)-83,  
Ереван, 1983.
10. Гальпер А.М., Лучков Б.И., Прилуцкий О.Ф. Гамма-лучи и  
структура Галактики. УФН, 1979, т.128, вып.2, с.313-343.

Рукопись поступила 17 мая 1984 г.

Р.О.АВАКЯН, Н.З.АКОПОВ, С.М.ДАРБИНЯН, Б.И.ЛУЧКОВ,

О.В.ТЕРЕХОВ, В.Ю.ТУГАЕНКО

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ГАММА-ТЕЛЕСКОПА С

МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ КОНВЕРТОРОМ

Редактор Л.П.Мукаян

Технический редактор А.С.Абрамян

---

Подписано в печать 31/УШ-84г. ВФ-11863 формат 60x84/16

Офсетная печать. Уч.изд.л. 0,5 . Тираж 299 экз. Ц 8 к.

Зак.тип. № 763

Индекс 3624

---

Отпечатано в Ереванском физическом институте  
Ереван 36, Маркаряна 2