

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ГАММА-ТЕЛЕСКОПА С КОДИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ

А. С. Белоусов, В. Г. Зверев^{*)}, С. А. Лазарев^{*)},
Б. И. Лучков^{*)}, Ю. Д. Котов^{*)}, Е. И. Малиновский,
Ю. В. Озеров^{*)}, Ю. В. Смирнов^{*)}, Ю. В. Соловьев,
В. Н. Пров^{*)}

УДК 539.1.073

На пучке гамма-квантов проведен эксперимент по определению углового разрешения гамма-телескопа с кодированием апертуры решеткой. С учетом расходимости пучка угловое разрешение гамма-телескопа составило 5 ± 3 угловых мин, что согласуется с ожидаемым для данной решетки.

В работе /1/ была показана возможность применения метода кодирования апертуры (МКА) для построения изображения объекта в диапазоне γ -лучей. Коротко МКА заключается в том, что в поток γ -излучения вносится кодирующий экран (КЭ), состоящий из определенной последовательности прозрачных и непрозрачных элементов. Прощедшие через КЭ фотоны регистрируются координатно-чувствительным детектором, расположенным на некотором расстоянии от экрана. По распределению координат зарегистрированных фотонов и известной конфигурации КЭ путем решения обратной задачи восстанавливается пространственное распределение потока излучения. Общеизвестным является использование при этом корреляционного метода.

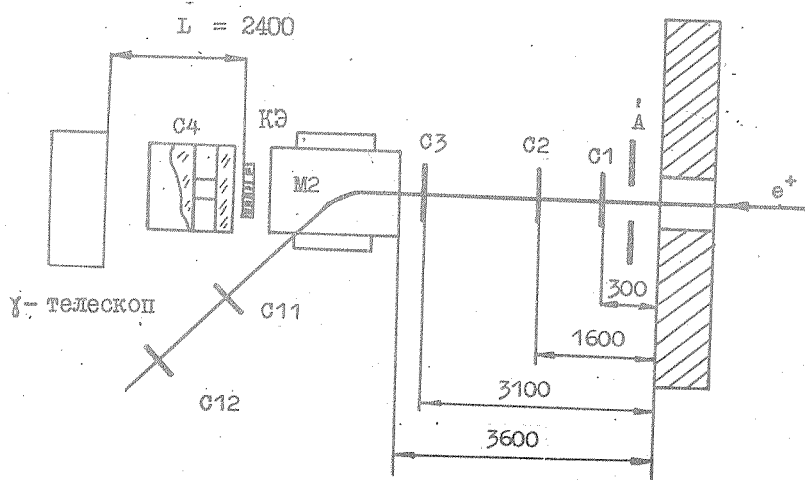
Большие перспективы открывает применение МКА в γ -астрономии для повышения углового разрешения γ -телескопов. В то время как угловая точность лучших современных γ -телескопов с

^{*)} Московский инженерно-физический институт.

искровыми камерами составляет $\delta_{\varphi} \approx 2^\circ$ при энергии γ -квантов 100 МэВ (δ_{φ} - половинный угол раствора конуса, содержащего 68% событий), телескоп, работающий на основе МКА, позволяет в принципе достичь значений $\delta_{\varphi} = 1-10$ минут дуги $/2/$. При этом не происходит ни существенного усложнения прибора, ни значительного изменения других его параметров. Так, например, эффективная площадь телескопа уменьшается только в 2 раза.

В настоящей статье описывается эксперимент по определению разрешающей способности γ -телескопа с кодированием апертуры.

Эксперимент проводился на пучке меченых фотонов ускорителя "Пахра" /4/. Схема эксперимента показана на рис. I. "Первичный" позитрон с энергией E_1 , выделяемый счетчиками C_1-C_3 , и "вторичный" позитрон с энергией E_2 , отклоняемый магнитом М и регистрируемый счетчиками C_{II}, C_{I2} , однозначно задавали момент времени и энергию испущенного позитроном тормозного фотона $E_{\gamma} = E_1 - E_2$.



Р и с. I. Схема эксперимента: А, $C_1, C_2, C_3, C_{II}, C_{I2}$ - сцинтилляционные счетчики; C_4 - активный коллиматор типа "сэндвич"; КЭ - кодирующий экран

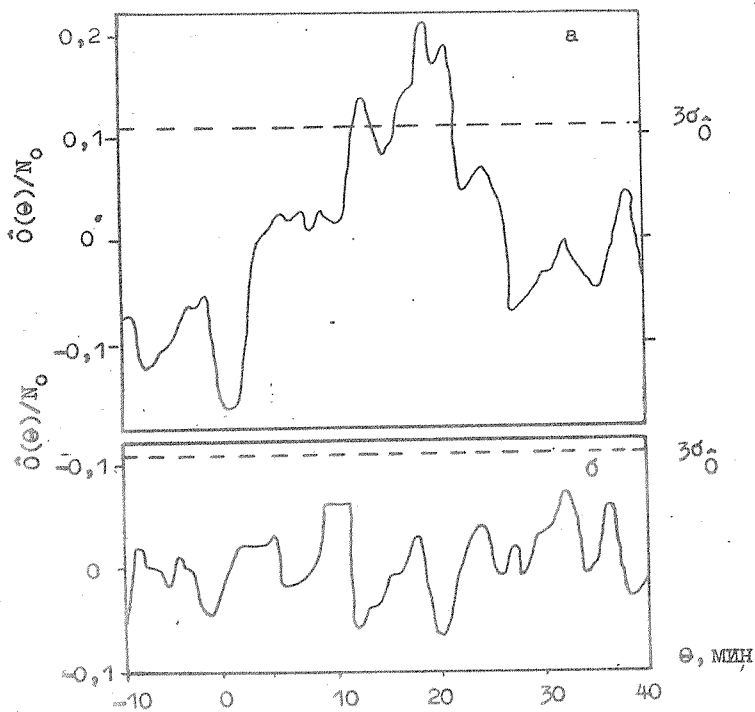
Тормозное γ -излучение образовывалось в распределенной мишени на пучке "первичных" позитронов (воздух, материал счетчиков $C_1 - C_3$). Угловое расхождение пучка меченых фотонов определялось как кинематикой процесса тормозного излучения, так и активным коллиматором типа "сэндвич" C_4 , состоявшим из чередующихся пластин сцинтиллятора и свинца полной толщиной в 7 радиационных длин. По центру пучка в свинцовых пластинах были сделаны отверстия радиусом 2 см. Включенный на антисовпадения с другими счетчиками, "сэндвич" коллимировал пучок меченых фотонов, так что его расходимость за "сэндвичем" составляла $\theta = 8,2 \pm \pm 1,4$ минуты дуги (ГНМ) на энергии $E_\gamma = 100$ МэВ/3/. КЭ устанавливался на передней стенке "сэндвича", который в данном случае выполнял роль антисовпадательного счетчика экрана, очищая пучок γ -квантов от заряженных частиц. КЭ полностью перекрывал отверстие в свинцовых пластинах "сэндвича".

Экран представлял собой одномерную решетку, построенную на основе (v, k, λ) - конфигурации /4/, где $v = 19$ - полное число элементов, $k = 10$ - число прозрачных элементов и в то же время высота пика автокорреляционной функции экрана, $\lambda = 5$ - уровень плато вне корреляционного пика. Поглощающие элементы КЭ сделаны из свинца, прозрачные - из тефлона. Размер минимального элемента равнялся $a = 2$ мм. При толщине КЭ 15 мм прозрачность поглощающих элементов составляла 0,26, что допустимо для формирования неразмытого изображения в детекторе.

Детектирующим прибором служил γ -телескоп с проволочными искровыми камерами /5/, расположенный на расстоянии $L = 2,4$ м от КЭ. γ -кванты испытывали конверсию в свинцовых пластинах, размещенных над искровыми камерами, в которых регистрировались треки электронно-позитронных пар. Измерялись координаты горизонтальной (x) и вертикальной (y) проекций точек конверсии γ -квантов. Элементы КЭ были параллельны оси x . При шаге намотки проволочных электродов 2 мм (в нормальных камерах) и 1,4 мм (в диагональных камерах) точность измерения координат составляла ~ 1 мм, а ожидаемое угловое разрешение телескопа с КЭ составляло $\sigma_\varphi = \frac{a}{L} \frac{v-1}{v} = 4$ минуты.

В процессе проведения эксперимента данные искровых камер записывались на магнитофон и в дальнейшем обрабатывались на

ЭВМ. Обработка заключалась в устранении случайных пробоев и отборе случаев, когда в первой после конверсии искровой камере была только одна искра в каждой из проекций. Всего было отобрано 730 γ -квантов с энергией 100 МэВ, что составило 70% от общего числа зарегистрированных событий. Истинность γ -квантовых событий подтверждается распределением точек конверсии по пластинам искровых камер, совпадающими с распределением в них вещества.



Р и с. 2. Корреляционные функции распределения точек конверсии γ -квантов и элементов кодирующего экрана в y -проекции (а) и x -проекции (б)

Результаты корреляционной обработки полученных данных приведены на рис. 2. В u -проекции четко виден пик, выступающий над фоном за 5 стандартных отклонений. Сдвиг пика на 20 минут относительно нуля (ось прибора) возник в результате неточной установки γ -телескопа по пучку меченых фотонов. В x -проекции (рис. 2б) корреляционный пик отсутствует, как и должно быть для одномерной решетки. Обработка в x -проекции, при проведении которой экран считался повернутым на угол 90° , является проверочной и указывает на отсутствие каких-либо причин, приводящих к появлению корреляционного пика. Ширина пика на полувысоте $\delta = 9,5$ минут определялась как собственным разрешением прибора, так и угловой расходимостью пучка меченых фотонов θ . С учетом последней, угловое разрешение γ -телескопа составляло $\Delta = (\delta^2 - \theta^2)^{1/2} = 5 \pm 3$ минут дуги, что совпадает с ожидаемым результатом.

Таким образом, проведенный эксперимент подтверждает работоспособность метода кодирования апертуры в диапазоне γ -излучения и возможность достижения таким путем минутных точностей. Следует заметить, что применение МКА для рентгеновских и γ -квантов не ограничивается только астрономическими задачами, а может распространиться на исследования по дозиметрии, физике плазмы и ядерной физике.

Авторы выражают благодарность А. М. Гальперу, О. Ф. Прилуцкому и Е. П. Чичковой за интерес к работе и помощь при ее выполнении.

Поступила в редакцию
29 сентября 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. О. Ф. Prilutsky, Proc. 22-th COSPAR Session, Bangalor, 1979, 38.
2. А. М. Гальпер, А. В. Курочкин, Н. Г. Лейков и др., Астрономический журнал, 57, 427 (1980).

3. А. С. Белоусов, А. М. Гальпер, В. Г. Зверев и др., Препринт
ФИАН СССР № 186, 1979 г.
4. М. Холл, Комбинаторика. М, "Мир", 1976 г.
5. А. М. Гальпер, В. Г. Кириллов-Угрюмов, Ю. Д. Котов и др.,
Изв. АН СССР сер. физическая, 40, № 3, 671 (1976).