

## УГЛОВЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАММА-КВАНТОВ, ИЗЛУЧАЕМЫХ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПОЗИТРОНОВ

*М.Д.Бавижев*<sup>1)</sup>, *Н.К.Булгаков*, *А.С.Водопьянов*, *Р.Бонг*,  
*И.Войтковска*, *У.Гибсон*<sup>4)</sup>, *В.М.Голозатюк*, *Э.Гузик*, *Н.И.Зимин*,  
*И.М.Иванченко*, *И.Н.Ивахненко*<sup>2)</sup>, *Р.Б.Кадыров*, *Р.Карриган (мл.)*<sup>3)</sup>,  
*Т.С.Нигминов*, *Ю.В.Нильсен*<sup>2)</sup>, *В.Д.Рябцов*, *Ч.Сан*<sup>4)</sup>, *Т.Туиг*<sup>3)</sup>, *И.А.Тяпкин*,  
*Н.А.Филатова*, *Э.Н.Цыганов*, *М.Д.Шафранов*, *А.Форыцки*, *Б.А.Юрьев*<sup>2)</sup>,

В работе представлены результаты экспериментального исследования угловых распределений гамма-квантов, излучаемых при плоскостном каналировании позитронов с энергией 10 ГэВ в монокристалле кремния толщиной 113 мкм. Приводятся зависимости спектрально-угловой плотности излучения от энергии для различных углов вылета гамма-квантов из кристалла.

В последнее время выполнен ряд экспериментов по исследованию излучения каналированных частиц высокой энергии<sup>1-4</sup>. Однако, до настоящего времени отсутствуют данные, показывающие угловые характеристики излучаемых гамма-квантов.

В работе приводятся угловые и спектральные характеристики излучения позитронов, каналированных плоскостью (110) монокристалла кремния толщиной 113 мкм.

Работа выполнена на установке „Кристалл”<sup>5</sup>. Спектрометр позволяет измерять углы входа позитронов в кристалл с точностью около 6 мкрад (стандартное отклонение). С помощью дрейфовой камеры со встроенным конвертором<sup>6</sup> определяется вертикальная проекция угла вылета гамма-квантов из кристалла с точностью около 4 мкрад (стандартное отклонение). Энергия гамма-квантов определяется детектором на основе кристалла CsI (Tl). В рабочих условиях для гамма-квантов с энергией 100 МэВ детектор имеет разрешение около 3% (ширина распределения на полувысоте).

На рис.1 представлена зависимость спектральной плотности излучения от энергии гамма-квантов для событий с углами входа позитронов в кристалл в диапазоне 0 - 40 мкрад. Критический угол каналирования плоскостью (110) монокристалла кремния для позитронов с энергией 10 ГэВ составляет около 60 мкрад. Регистрировались гамма-кванты с углами вылета из кристалла в интервале  $\pm 1$  мрад в обеих проекциях. На том же рисунке показан результат измерения спектральной плотности излучения на алюминиевой мишени (штрих-пунктир-

1) Филиал Ставропольского политехнического института, г.Черкесск, СССР.

2) НИИЯФ МГУ, г. Москва, СССР.

3) Национальная ускорительная лаборатория им. Ферми, г. Батавия, США.

4) Университет штата Нью-Йорк, г. Олбани, США.

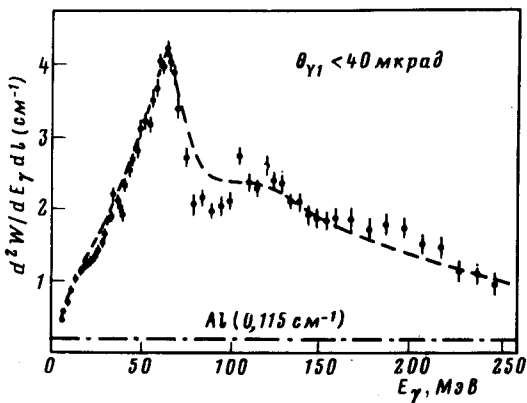


Рис.1

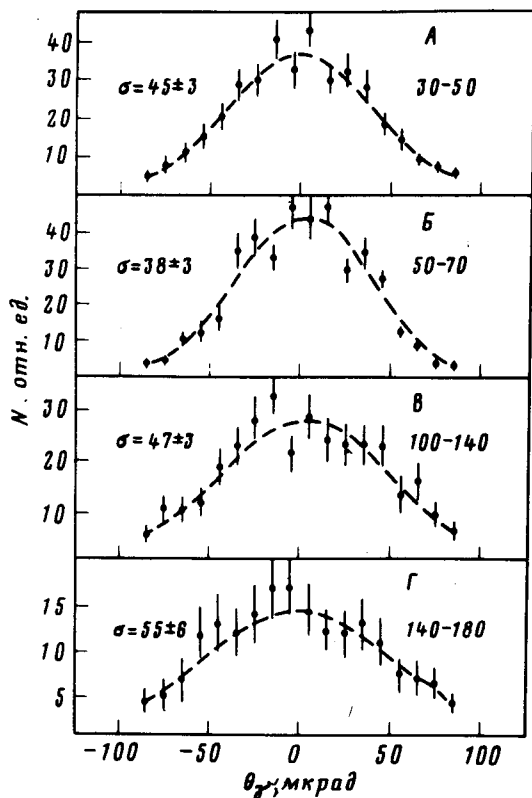


Рис.3

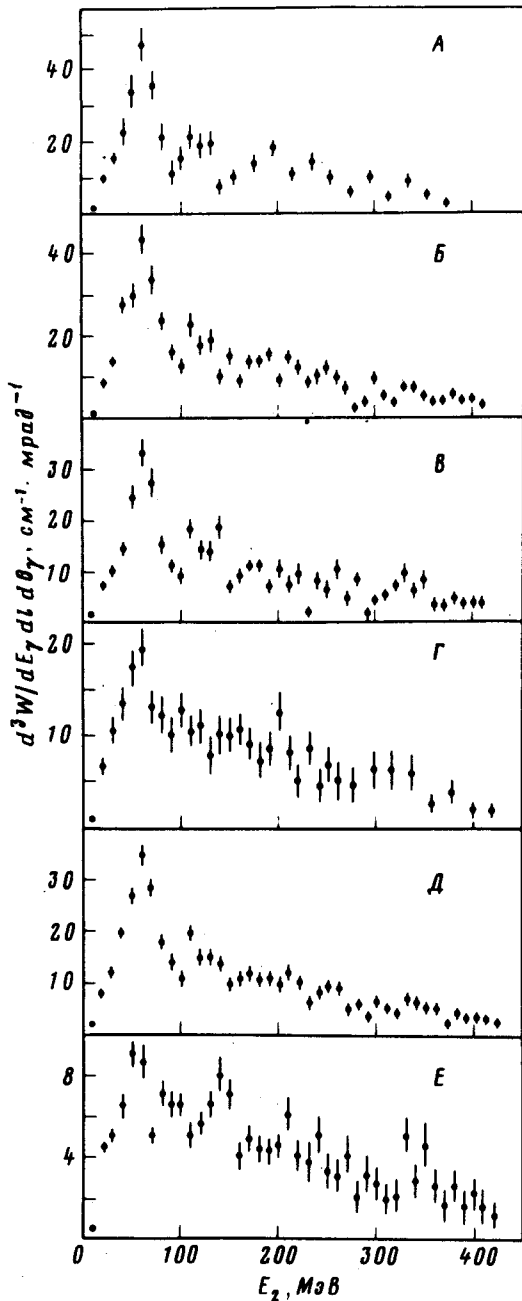


Рис.2

Рис.1. Спектральная плотность излучения в зависимости от энергии гамма-квантов. Распределения нормированы на один падающий позитрон

Рис.2. Зависимости спектрально-угловой плотности излучения от энергии гамма-квантов. Распределения построены для событий, в которых гамма-кванты излучались в угловой интервал 0 – 10 (А), 0 – 20 (Б), 20 – 40 (В), 40 – 60 (Г), 0 – 50 (Д), 50 – 100 мкрад (Е)

Рис.3. Распределение событий по углам вылета гамма-квантов из кристалла. Распределения построены для гамма-квантов в различных диапазонах энергии. Границы диапазонов указаны в правом углу каждого графика. Штрихами проведены кривые, полученные при аппроксимации экспериментальных данных распределением Гаусса. В левом углу каждого графика указаны стандартные отклонения для приведенных кривых

ная кривая), который дает удовлетворительное совпадение с расчетом ( $0,12 \text{ см}^{-1}$ ), выполненным согласно <sup>7</sup>. Пик для гамма-квантов с энергией около 60 МэВ соответствует излучению при переходах между соседними уровнями поперечной энергии позитронов (первая гармоника излучения) и хорошо описывается в приближении, где излучение определяется только ускорением частицы (дипольное приближение) <sup>8</sup>. Для позитронов с энергией 10 ГэВ, нарушение дипольности проявляется в появлении заметной вероятности излучения второй и третьей гармоник, т.е. переходов между более удаленными уровнями (пики при энергиях около 120 и 200 МэВ). Отношение между величинами спектральных плотностей излучения первой и второй гармоник составляет около  $1,5 \pm 0,1$ . Отношение величин спектральных плотностей для гамма-квантов с энергиями 60 и 90 МэВ (минимум между первой и второй гармониками) составляет  $2,1 \pm 0,2$ .

В эксперименте <sup>3</sup> получено соответственно  $1,5 \pm 0,2$  и  $2,0 \pm 0,2$ , что хорошо совпадает с нашими данными. Величина отношения спектральных плотностей излучения на первой и второй гармониках показывает также, что излучение носит существенно недипольный характер. Как показывает штриховая кривая на рис.1 данные хорошо согласуются с расчетом, выполненным согласно <sup>8</sup>.

Зависимость спектрально-угловой плотности излучения от энергии гамма-квантов для частиц, имеющих угол входа в диапазоне  $0 - 40$  мкрад изучена для нескольких интервалов углов вылета гамма-квантов (рис.2). Отмечалось <sup>8</sup>, что коллимация пучка гамма-квантов под малыми углами относительно проекции импульса частиц на кристаллографическую плоскость, приводит к выделению в спектре излучения позитронов гамма-квантов с энергией, соответствующей максимальной для каждой гармоники. Коллимация пучка гамма-квантов, даже в одной проекции, приводит к изменению формы зависимости спектральной плотности излучения от энергии. Соотношения между величинами спектральной плотности излучения для гамма-квантов с энергией 60 МэВ и 120 МэВ, испущенных под углом  $0 - 10$  мкрад (рис.2А) составляет теперь  $2,6 \pm 0,5$ , т.е. происходит некоторое относительное уменьшение спектральной плотности излучения на максимальной энергии второй гармоники. Из-за недипольности излучения в величину спектральной плотности для гамма-квантов с энергией около 60 и 120 МэВ дает некоторый вклад излучение более высоких гармоник, происходящее под большими углами относительно проекции импульса позитрона на кристаллографическую плоскость. Доля излучения высоких гармоник в области энергии около 120 МэВ больше, чем для 60 МэВ, поэтому коллимация пучка гамма-квантов вокруг направления вперед приводит к более сильному подавлению излучения для гамма-квантов с энергией около 120 МэВ. Отношение спектральных плотностей для гамма-квантов с энергией 60 МэВ и 90 МэВ для излучения, коллимированного вперед (рис.2, А) составляет  $5,3 \pm 1,5$ . Это говорит о том, что для излучения под малыми углами относительно кристаллографической плоскости, действительно происходит подавление излучения с энергией ниже максимальной для той гармоники, на которой происходит переход. Для получения еще более узких пиков в спектре излучения, по-видимому, необходимо выбирать частицы с углами вылета гамма-квантов, коллимированными относительно проекции импульса позитрона на кристаллографическую плоскость. Спектральная плотность излучения на рис.2, А для гамма-квантов с энергией 60 МэВ в  $49 \pm 5$  раз превосходит соответствующую величину для алюминиевой мишени. Для распределения на рис.1 это превышение составляет  $36 \pm 1$  раз.

На рис.3 представлены распределения гамма-квантов по углам вылета из кристалла относительно плоскости (110) для частиц, имеющих угол входа в кристалл в диапазоне  $0 - 40$  мкрад. Видно, что для этих (каналированных) частиц гамма-кванты излучаются в узкий угловой интервал (меньше  $\pm 100$  мкрад) при всех рассматриваемых энергиях. Распределение на рис.3, Б имеет наименьшую ширину. При построении этого распределения отбирались гамма-кванты с энергией, максимальной для первой гармоники. Его ширина определяется, в основном, недипольностью излучения и агармонизмом потенциала, в котором движется позитрон <sup>8</sup>. Одна-

ко, даже для случая дипольного излучения в гармоническом потенциале, ширина распределения аналогичного (рис.3, Б) должна быть конечной и определяется, в основном, распределением каналированных позитронов по поперечной энергии.

### Литература

1. Головатюк В.М. и др. ОИЯИ, Ц1-81-592, Дубна, 1981.
2. Мирошниченко И.И., Мёрри Д.Д., Авакян Р.О., Фигут Т.Х. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 786.
3. Atkinson M. et al. Phys. Lett., 1982, 110B, 162.
4. Авакян Р.О. и др. ЯФ, 1982, 35, 387.
5. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, P13-82-547, Дубна, 1982.
6. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, P15-81-644, Дубна, 1981.
7. Yung-Su Tsui. Rev. of Mod. Phys., 1974, 46, 815.
8. Базылев В.А., Глебов В.И., Жеваго Н.К. ЖЭТФ, 1980, 78, 62.

Объединенный институт  
ядерных исследований

Поступила в редакцию  
12 сентября 1983 г.