

ВЛИЯНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ОСИ НА УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ

*М.Ю.Андреяшкин, С.А.Воробьев, В.Н.Забаев, А.П.Каширин,
Г.А.Науменко, А.П.Потылицын, В.М.Тарасов*

*НИИ ядерной физики томского политехнического института им. С.М.Кирова
634061, Томск*

Поступила в редакцию 18 февраля 1991 г.

Экспериментально исследовано изменение углового распределения γ -излучения электронов с энергией 900 МэВ в монокристаллах Si и алмаза при переходе от хаотической ориентации к осевой. Впервые обнаружено принципиальное различие в поведении жесткой и мягкой компонент спектра.

В 1979 году на Томском синхротроне был экспериментально обнаружен эффект сужения конуса мягкой компоненты γ -излучения электронов при переходе от хаотической ориентации кристаллов алмаза и кремния к аксиальной¹. В дальнейшем данный результат получил подтверждение в работах^{2,3}. В то же время известны эксперименты, свидетельствующие о том, что для релятивистских электронов, пересекающих кристалл вдоль осевого направления, возрастает среднеквадратичный угол многократного рассеяния θ_0 ^{4,5}. Для совместного объяснения этих противоречивых, на первый взгляд, фактов можно использовать следующий простой механизм.

Поток электронов, падающий на кристалл вдоль кристаллографической оси, в зависимости от прицельного параметра перераспределяется на две группы. Первую составляют частицы, захваченные в режим связанного и квазисвязанного движения. Их излучение формирует в мягкой части спектра аномальный пик так называемого излучения при каналировании (Channeling Radiation, см. рис. 1. Угловое распределение каналированного излучения определяется критическим углом каналирования ψ_L .

Вторую, более многочисленную группу, образуют надбарьерные частицы, генерирующие когерентное тормозное излучение. Вклад этого механизма является преобладающим в жесткой части спектра, для энергий фотонов $\omega > 100$ МэВ (см. рис. 1). Угловое распределение излучения надбарьерных частиц зависит от среднеквадратичного угла многократного рассеяния θ_0 , который возрастает при достижении осевой ориентации кристалла^{4,5}.

Из сказанного следует, что для достаточно толстых кристаллов, когда выполняется условие $\theta_0 > \psi_L$, должно проявляться принципиальное различие в угловых зависимостях мягкой (район пика) и жесткой (район хвоста) компонент спектра γ -излучения. При осевой ориентации кристалла угловое распределение жестких фотонов расширяется в результате роста угла θ_0 , а мягких фотонов сужается, коррелируя с величиной угла ψ_L .

Сделанные предположения о динамике поведения электронов в ориентированных кристаллах были проверены экспериментально на томском электронном синхротроне. Основу регистрирующей аппаратуры составляли NaJ(Tl) - γ -спектрометр полного поглощения и блок координатных проволочных камер. Характеристики установки и методики описаны в работах^{6,7}.

На рис. 1 приведен измеренный на кристалле алмаза спектр интенсивности γ -излучения для следующих условий: энергия электронов $E_0 = 900$ МэВ, порог

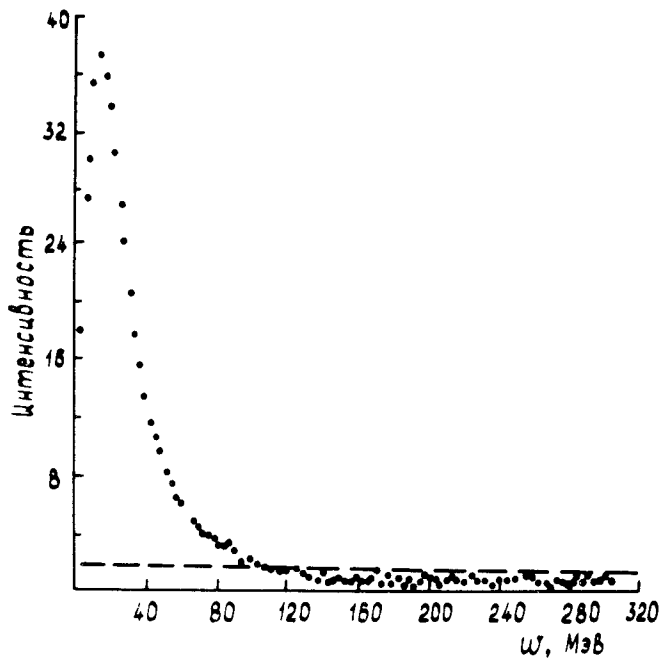


Рис. 1. Спектр интенсивности γ -излучения электронов в кристалле алмаза. Точки - осевая ориентация, штрихи - хаотическая ориентация

регистрации $\omega_n = 2$ МэВ, коллимация γ -излучения $\theta_k = 0,6 \cdot 10^{-3}$ рад, толщина кристалла $t = 0,35$ мм, ориентация осью $\langle 100 \rangle$. Для сравнения на рис. 1 также приведен спектр, измеренный на разориентированной мишени.

В указанных условиях величины критического угла каналирования и угла многократного рассеяния (для аморфного аналога алмаза) составляют соответственно $\psi_L = 0,47 \cdot 10^{-3}$ рад и $\theta_0 = 0,9 \cdot 10^{-3}$ рад. Т.е. выполняется условие $\theta_0 > \psi_L$. На рис. 2 приведены проекционные угловые распределения γ -излучения для двух диапазонов энергий. Гистограммы нормированы на площадь.

Аналогичные измерения были выполнены также на монокристалле кремния ($t = 0,37$ мм, $\langle 100 \rangle$). В таблице приведены коэффициенты относительного изменения ширины угловых распределений $\eta = \frac{\sigma_{\langle \rangle}}{\sigma_{\text{rand}}}$, где $\sigma_{\langle \rangle}$ и σ_{rand} - среднеквадратичные отклонения для осевой и хаотической ориентации кристаллов. Статистические ошибки этих величин составляют $\Delta\sigma \approx 6 \div 8\%$.

Ориентация мишени	Диапазоны энергий, МэВ		
	< 80	120 - 900	120 - 300
Алмаз $\langle 110 \rangle$	0,74	-	1,31
Si $\langle 100 \rangle$	0,75	1,42	-

Заметим, что уширение жесткой компоненты γ -излучения в кристалле Si ($\eta = 1,42$) соответствует увеличению угла θ_0 ($\eta = 1,5$), зарегистрированному при энергии электронов 1200 МэВ в работе ⁵.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что действительно две фракции γ -излучения электронов ведут себя различно при переходе от хаотической ориентации кристалла к осевой. Этот факт по нашему мнению позволяет углубить понимание и интерпретацию различных экспериментальных данных, относящихся к особенностям динамики и излучения электронов в кристаллах.

В частности, ранее в нескольких экспериментальных работах сообщалось

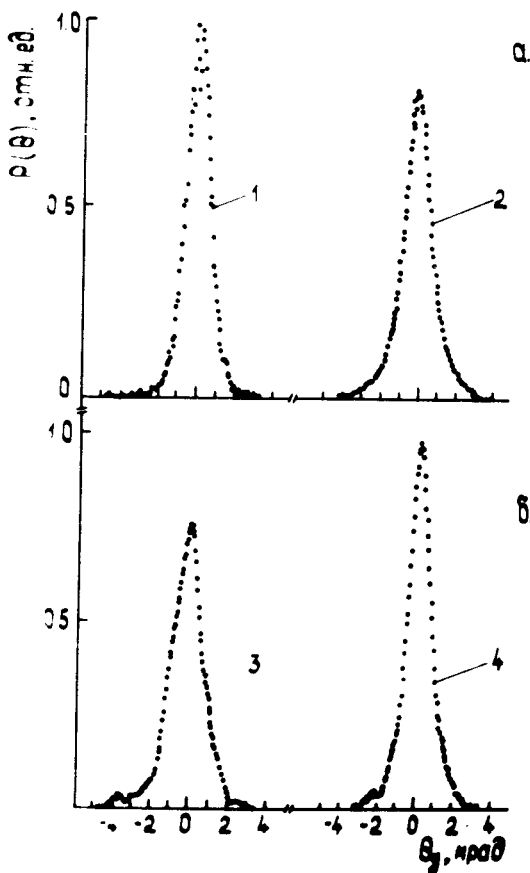


Рис. 2. Проекционные угловые распределения γ -излучения электронов в кристалле алмаза: а - $\omega < 80$ МэВ; б - $\omega = 120 \div 300$ МэВ; 1, 3 - ось $\langle 110 \rangle$; 2, 4 - random

о подавлении выхода фотонов предельных энергий в условиях ориентации различных кристаллов по отношению к уровню разориентированных мишеней (см. рис. 1, а также ^{8,9}). Этот эффект обсуждался в литературе, но не получил однозначного толкования ^{10,11}. Обнаруженное в данной работе расширение конуса излучения жестких фотонов позволяет объяснить эффект подавления влиянием коллимации δ -излучения, имевшей место в указанных экспериментах.

Авторы благодарят Калинина Б.Н. за полезные обсуждения.

Литература

1. Адищев Ю.Н., Ананьин П.С., Воробьев С.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 430.
2. Лапин Н.И., Касилев В.И., Щербак С.Ф. УФЖ, 1985, 30, 1155.
3. Алейник А.И., Воробьев С.А., Калинин Б.Н. и др. ЖТФ, 1986, 56, 1416.
4. Антипенко А.П., Афанасьев Н.Г., Гани А.В. и др. ЯФ, 1986, 44, 1585.
5. Антипенко А.П., Блажевич С.И., Бочек Г.Л. и др. Материалы XVIII Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: Изд-во МГУ, 1989, 96.
6. Андреашкин М.Ю., Забаев В.Н., Каширин А.П. и др. Тезисы докладов III Всесоюзной конференции по излучению релятивистских частиц в кристаллах. Нальчик, 1988, 95.
7. Андреашкин М.Ю., Забаев В.Н., Калини Б.Н. и др. ПТЭ, 1989, 6, 55.
8. Didenko A.N., Zabaev V.N., Kalinin B.N. et al. Phys. Lett., A, 1981, 82, 54.
9. Андреашкин М.Ю., Внуков И.Е., Воробьев С.А. и др. ДАН, 1989, 307, 1358.
10. Груев Д.И., Кумахов М.А. Письма в ЖТФ, 1985, 11, 1245.
11. Базылев В.А., Головизнин В.В., Демуря А.В. ЖЭТФ, 1987, 92, 1946.