

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-85-672

УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ γ -КВАНТОВ,
ИЗЛУЧАЕМЫХ РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ПОЗИТРОНАМИ
В МОНОКРИСТАЛЛЕ КРЕМНИЯ

Направлено в журнал "Письма в ЖЭТФ"

1985

Н.К.Булгаков, А.С.Водопьянов, И.Войтковска, В.М.Головатюк,
З.Гузик, Н.И.Зимин, И.М.Иванченко, Р.Б.Кадыров, Т.С.Нигма-
нов, В.Д.Рябцов, И.А.Тяпкин, Н.А.Филатова, Э.Н.Цыганов,
М.Д.Шафранов, А.Форыцки
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

И.Н.Ивахненко, Ю.В.Нильсон, Б.А.Юрьев
НИИЯФ МГУ, Москва

Р.Карриган /мл./, Т.Туиг
Национальная ускорительная лаборатория им.Э.Ферми,
Батавия, США

У.Гибсон, Ч.Сан, Р.Вонг
Университет штата Нью-Йорк, Олбани, США

Предсказание ^{1/1/} и исследование спонтанного излучения каналиро-
ванных электронов и позитронов ^{2-5/}, отличающегося высокой спектра-
льно-угловой плотностью, в десятки раз превышающей спектрально-
угловую плотность тормозного излучения, стимулировало исследование
угловых распределений γ -излучения электронов и позитронов в кри-
сталлических мишенях ^{6,7/}.

В настоящей работе представлены результаты исследования угло-
вых распределений γ -квантов, излученных позитронами с энергией
10 ГэВ в монокристалле кремния при различных ориентациях относи-
тельно кристаллографической плоскости (110). Данные получены на
установке "Кристалл" (ОИЯИ) ^{8/} на протонном синхротроне Института
физики высоких энергий (Серпухов).

В ^{9/} описана методика измерения угловых распределений гамма-
квантов и представлены характеристики дрейфовой камеры со встроен-
ным конвертором, регистрировавшей треки электрон-позитронных пар,
конвертируемых исследуемыми γ -квантами. Угол вылета γ -кван-
тов определялся по координате точки конверсии e^+e^- -пары и коорди-
нате трека первичной частицы в мишени. Представленные в настоящей
работе результаты были получены с использованием свинцового конвер-
тора толщиной около 0,27 радиационной длины. При этом точность из-
мерения углов вылета γ -квантов из мишени составила примерно
7 мкрад.

При обработке данных для тех событий, у которых восстанавлива-
лись координаты точки конверсии, в энергию γ -квантов вносилась
поправка на величину ионизационных потерь e^+e^- -пары в веществе кон-
вертора, в стальной стенке корпуса γ -спектрометра толщиной 0,3 мм
и в слое светоотражающего порошка MgO толщиной 1 мм. Величина
поправки определялась из сравнения энергетических спектров γ -кван-
тов, конвертировавших пары, со спектрами, в которых пары не конвер-
тировались, и составила около 8 МэВ для энергии γ -квантов от
20 МэВ и выше. Зависимость коэффициента конверсии пар от энергии
 γ -квантов, как и энергетическая зависимость эффективности вос-
становления координат точек конверсии ^{9/}, приводит к искажению угло-
вых распределений γ -квантов с различными энергиями. Это искаже-
ние устранялось введением зависящего от энергии весового коэффици-
ента, который определялся как отношение полного числа зарегистриро-

ванных γ -спектрометром событий с данной энергией к числу событий с такой же энергией, для которых восстановлена координата точки конверсии e^+e^- -пары.

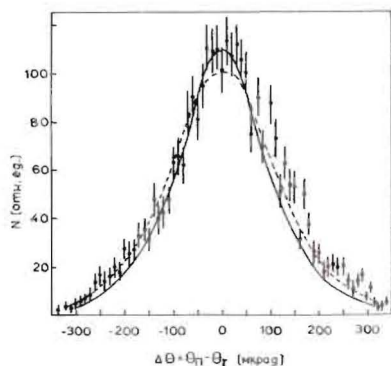


Рис. 1. Угловое распределение тормозного излучения от алюминиевой мишени. Пунктирной линией представлен результат аппроксимации экспериментальных данных распределением Гаусса. Сплошная линия - вычисленное угловое распределение γ -квантов.

На рис. 1 представлено угловое распределение тормозного излучения из алюминиевой мишени толщиной 0,95 мм. Пунктирная линия представляет результат аппроксимации экспериментальных данных распределением Гаусса. Сплошной линией показано вычисленное (методом Монте-Карло) угловое распределение γ -квантов в Al^{10} с учётом многократного рассеяния электронов. Стандартное отклонение аппроксимирующего распределения Гаусса $\sigma = 123 \pm 3$ мкрад, среднеквадратичное отклонение расчётного распределения составило 115 мкрад. Некоторое отличие экспериментальных данных от расчётных, по-видимому, связано с использованием при моделировании нормального распределения для углов многократного рассеяния θ_1, θ_2 . Эта разница уменьшается при использовании более тонких мишеней.

На рис. 2-5 представлены угловые распределения γ -квантов, излучаемых позитронами в кристалле кремния при различных углах ориентации относительно кристаллографической плоскости (110). Распределения построены для различных диапазонов энергии γ -квантов. Границы диапазонов (МэВ) указаны на рисунках справа. Пунктирными кривыми представлены результаты аппроксимации экспериментальных данных распределениями Гаусса. Стандартные отклонения этих распределений указаны на рисунках слева. Сплошные линии представляют собой соответствующие распределения, рассчитанные для аморфной кремниевой мишени эквивалентной толщины.

На рис. 2 представлены распределения углов вылета γ -квантов относительно кристаллографической плоскости (110), излученных позитронами с углами влёта от -60 до +60 мкрад. Среднеквадратичное от-

клонение аналогичного расчётного распределения из аморфной мишени с учётом расходимости пучка составляет около 82 мкрад, что значительно превышает среднеквадратичное отклонение экспериментальных распределений (рис. 2А-2Д). Минимальный угловой разброс (рис. 2Д) имеют γ -кванты с энергией около 60 МэВ, что соответствует в нашем случае максимуму спектральной плотности излучения при каналировании γ .

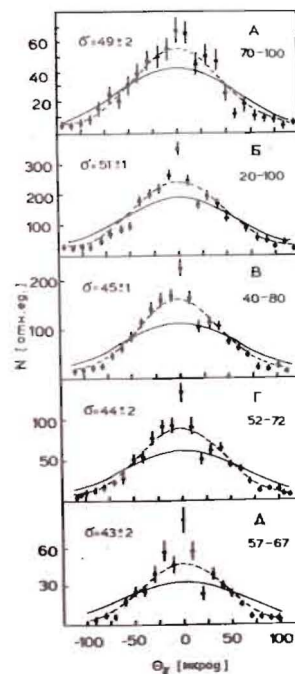


Рис. 2. Распределения событий по углам вылета γ -квантов относительно плоскости (110). Диапазон углов влёта позитронов от -60 мкрад до +60 мкрад. Цифры справа обозначают границы интервала энергий γ -квантов. Пунктирные линии - результат аппроксимации экспериментальных данных распределением Гаусса. Слева указаны стандартные отклонения приведённых кривых. Сплошной линией представлено расчётное распределение излучения из аморфной мишени.

На рис. 3 показаны угловые распределения γ -квантов, излученных позитронами с углами влёта в кристалл в интервале 70-140 мкрад. Распределение γ -квантов с энергиями 20-100 МэВ (рис. 3А) имеет среднее значение, сдвинутое примерно на 50 мкрад в сторону меньших углов относительно расчётного распределения. Это в значительной степени объясняется перерассеянием позитронов с последующим захватом их в режим каналирования, где вероятность излучения в указанном диапазоне энергий γ -квантов в несколько раз превышает вероятность излучения вне канала γ . С увеличением энергии γ -квантов (рис. 3Б) среднее значение экспериментального распределения приближается к среднему значению расчётного и при энергии 300-600 МэВ обе величины примерно совпадают (рис. 3В). С увеличением энергии γ -квантов их угловой разброс уменьшается и при энергиях 300-600 МэВ,

примерно соответствующих максимуму спектральной плотности когерентного тормозного излучения (КТИ) для данной ориентации, составляет около 43 мкрад, что существенно меньше углового разброса излучения от аморфной мишени.

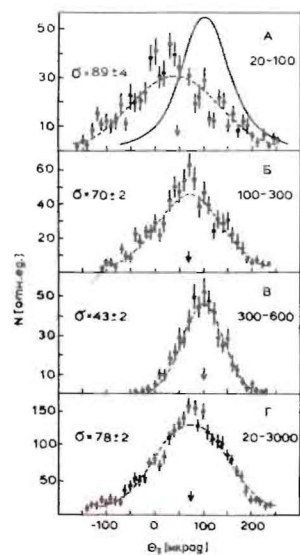


Рис. 3. То же, что на рис. 2. Углы влёта позитронов в интервале 70–140 мкрад.

На рис. 4 представлены распределения углов вылета γ -квантов относительно направления падающих позитронов. Отбирались события с углами влёта позитронов в интервале 140–300 мкрад. Из сравнения распределений (рис. 4А–4Г) следует, что значения их среднеквадратичных отклонений зависят от энергии γ -квантов. Наименьший угловой разброс при данной ориентации позитронов имеют γ -кванты с энергией 600–1000 МэВ, что соответствует максимуму спектральной плотности КТИ. Аналогичный вывод следует и из сравнения угловых распределений, соответствующих различным интервалам энергий γ -квантов, излученных позитронами с большими углами ориентации (рис. 5А–5В).

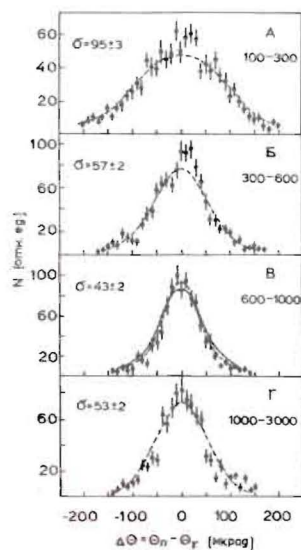


Рис. 4. Распределения событий по углам вылета γ -квантов относительно направления падающих позитронов. Отобраны события с углами влёта в интервале 140–300 мкрад. Цифры и линии на рисунке обозначают то же, что и на рис. 2.

Наименьший угловой разброс имеют γ -кванты с энергией 1000–3000 МэВ (рис. 5В), что также соответствует области максимума спектральной плотности КТИ.

Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют, что как в случае спонтанного излучения при каналировании, так и в случае КТИ наиболее узкие угловые распределения соответствуют γ -квантам с энергиями, лежащими в области максимума спектральной плотности излучения.

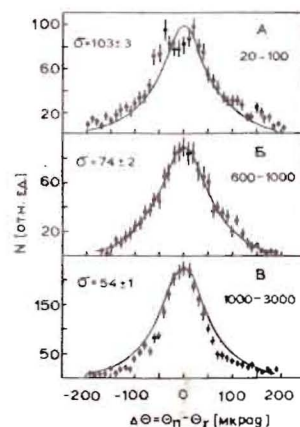


Рис. 5. То же, что на рис. 4. Углы влёта позитронов в интервале 300–1000 мкрад.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кумахов М.А. ДАН СССР, 1977, т. 230, с. 1076.
2. Мирошниченко И.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, т. 29, с. 786; Rad. Eff., 1982, 66, p. 173.
3. Головатик В.М. и др. ОИЯИ, ДИ-81-592, Дубна, 1981.
4. Atkinson M. et al. Phys. Lett., 1982, 110B, p. 162.
5. Булгаков Н.К. и др. ОИЯИ, РИ-83-621, Дубна, 1983.
6. Адищев Ю.Н. и др. ЯФ, 1982, т. 35, вып. I, с. 108.
7. Булгаков Н.К. и др. ОИЯИ, РИ-83-603, Дубна, 1983.
8. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, РИЗ-82-547, Дубна, 1982.
9. Банников М.Д. и др. ОИЯИ, РИЗ-81-644, Дубна, 1981.
10. Yung-Su Tsui. Rev. of Mod. Phys., 1974, v. 46, p. 815.
11. Aguilar - Benitez M. et al. Phys. Lett., 1982, 11B, p. 96.
12. Highland V.L. Nucl. Instr. and Meth., 1975, 129, p. 497.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 сентября 1985 года.