

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

УДК 533.12.04

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ
ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ
АЛЮМИНИИ**

**С. В. Блажевич^{*)}, В. К. Гришин, Б. С. Ишханов, Н. Н. Насонов^{*)},
В. П. Петухов, В. И. Шведун**
(НИИЯФ)

Экспериментально исследовано влияние коллективных эффектов на структуру поляризационного тормозного излучения релятивистских электронов в поликристаллической пленке алюминия. Эксперимент проведен на электронном ускорителе НИИЯФ МГУ с энергией 2,4 МэВ. Впервые наблюдаемая пиковая структура поляризационного тормозного излучения находится в согласии с теоретическими предсказаниями.

Поляризационное тормозное излучение (ПТИ) возникает в результате переменной поляризации атомных электронов, происходящей под влиянием электромагнитного поля быстрых заряженных частиц [1]. В наиболее важном для различных приложений рентгеновском диапазоне с энергиями фотонов от нескольких до десятков килоэлектрон-вольт эффективный параметр столкновения налетающей частицы становится сравнимым с атомными размерами и, следовательно, с межатомными расстояниями в конденсированных средах. Таким образом, свойства ПТИ должны быть весьма чувствительными к структуре конденсированного вещества, что, в частности, было предсказано в работе [2].

К сожалению, экспериментальные исследования ПТИ проводились в основном в области резонансных атомных частот (см. [1]), где корреляции между положениями атомов несущественны. Экспериментальные исследования когерентных процессов в ПТИ релятивистских частиц проводились в НИИЯФ МГУ при энергии электронов 6,7 МэВ (аморфная мишень) [3] и в НИИЯФ Томского политехнического университета при энергии электронов 900 МэВ (мишень из тяжелых металлов) [4]. Настоящее сообщение представляет новые результаты экспериментального исследования спектрального распределения ПТИ релятивистских электронов в поликристаллической алюминиевой мишени.

Исследования выполнены в НИИЯФ МГУ на линейном электронном ускорителе непрерывного действия с энергией электронов 2,4 МэВ. В экспериментальной схеме пучок ускоренных электронов с поперечным сечением 2 мм × 2 мм направлялся на алюминиевую фольгу толщиной 2 мкм, расположенную в вакуумной камере под углом 45° по отношению к пучку. Электроны, пересекающие мишень, поглощались затем в цилиндре Фарадея. Мишень крепилась на подвижной, дистанционно управляемой скамейке. Здесь же размещался покрытый люминофором экран. С помощью экрана и специальной телекамеры конт-

ролирулось качество падающего пучка. Фотоны, излучаемые в процессе взаимодействия электронов с мишенью, регистрировались охлаждаемым SiLi-детектором в малом телесном угле ($\sim 0,00015$ ср). Разрешающая способность детектора составляла 200 эВ. Детектор располагался под углом 90° по отношению к пучку и был удален от мишени на расстояние $\sim 0,5$ м, что позволяло добиться оптимального соотношения интенсивностей ПТИ и обычного тормозного излучения (ТИ). В камере имелся также небольшой подвижной свинцовый экран, который мог перекрывать детектор в направлении прямой видимости мишени. В последнем случае детектировался реальный фон с учетом облучения мишени ускоренным пучком. Дополнительные магниты защищали детектор от рассеянных электронов. Измерения проводились при токе пучка, не превышающем десятка наноампер, что позволяло избежать нелинейных искажений при накоплении спектральных данных.

В первых сериях измерений [5, 6] было впервые выделено ПТИ для умеренно релятивистских электронов. Однако высокий уровень фона мешал надежно проанализировать структуру ПТИ. Настоящие результаты получены после заметного снижения уровня внешнего фона. Характерный спектр рентгеновских фотонов представлен на рис. 1 (кривая 1). Помимо ПТИ этот спектр включает ТИ и фон (кривая 2). Участок *K*-линии, расположенный в районе 1,5 кэВ, т. е. ниже 600-го канала отсчета, на рис. 1 не указан.

Результирующий энергетический (частотный) спектр интенсивности наблюдаемого излучения после вычитания фона приведен на рис. 2 (кривая 1). Здесь же представлено несколько расчетных кривых, удовлетворяющих экспериментальным условиям: кривая 2 — спектр интенсивности ТИ, который в рассматриваемой области энергий имеет вид горизонтальной линии, и кривые 3 и 4 — соответственно спектры интенсивности ПТИ в аморфном

^{*)} Белгородский государственный университет, Россия.

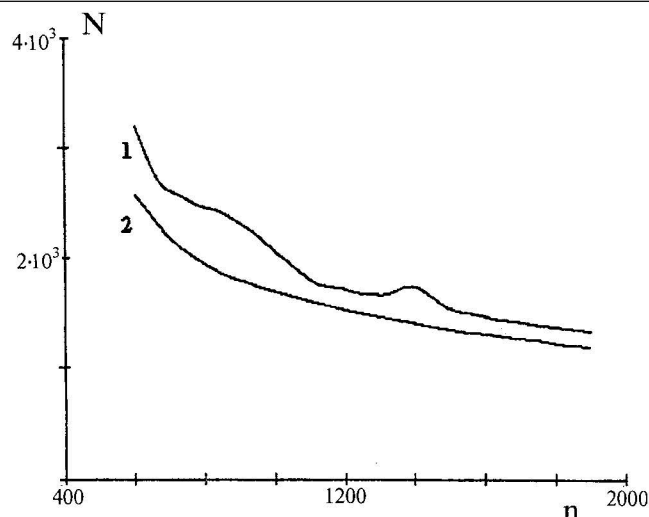


Рис. 1. Распределение спектральной плотности рентгеновского излучения по каналам детектирования: 1 — основной сигнал, 2 — внешний фон

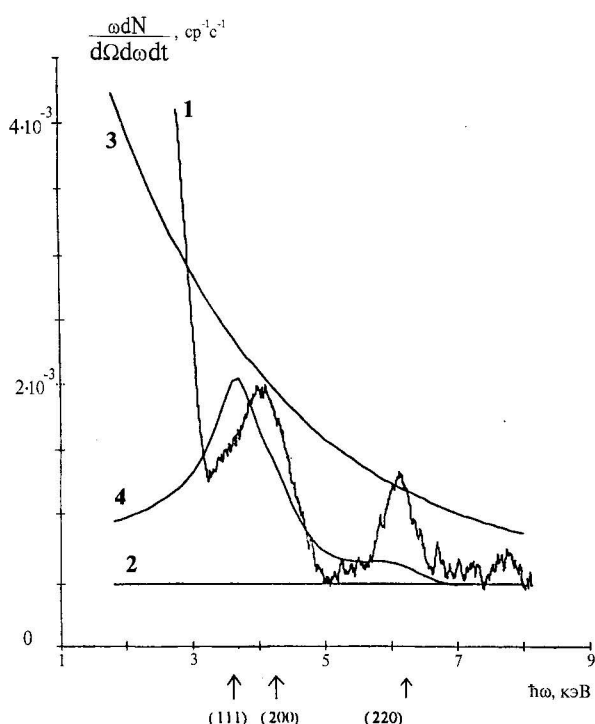


Рис. 2. Спектрально-угловое распределение интенсивности тормозного излучения: 1 — экспериментальные данные после вычитания внешнего фона; 2 — интенсивность обычного тормозного излучения; 3 — суммарная интенсивность ПТИ и обычного тормозного излучения в аморфном алюминии (расчет); 4 — то же в поликристаллическом алюминии (расчет)

алюминии и в поликристаллической алюминиевой мишени с учетом вклада интенсивности ТИ (для обоих спектров). Последние кривые рассчитаны с помощью теоретических соотношений [2]. Согласно расчетным данным (см. также [1]), спектр ПТИ в поликристаллическом веществе в когерентной области имеет пиковую структуру, природа которой та же, что и в случае рассеяния Дебая-Шеррера. В диапазоне энергий фотонов $1 \div 8$ кэВ расположены три пика со средними энергиями 3,75; 4,33 и 6,12 кэВ, соответствующие когерентному рассеянию поля падающих электронов на кристаллических плоскостях

алюминия (111), (200) и (220) под выбранным в эксперименте углом Брэгга в 45° . Для умеренно релятивистских электронов ширина пиков оказывается достаточно большой. Поэтому пики (111) и (200) сливаются в один (первый пик на кривой 4).

Сравнивая кривые на рис. 2, можно заключить, что ПТИ надежно идентифицируется по экспериментальным данным и характер ПТИ обусловлен поликристаллической структурой вещества мишени. Положения пиков на измеренной кривой находятся в соответствии с предсказаниями. Измеренный выход ПТИ в окрестности пиков (111) и (200) в целом также согласуется с расчетными значениями. Расхождение между теоретическими предсказаниями и экспериментальными данными наблюдается в окрестности пика (220), что, возможно, связано с когерентным брэгговским отражением на поверхностной текстуре мишени.

Таким образом, имея в виду ранее полученные экспериментальные данные о характере ПТИ релятивистских электронов в аморфном углероде [3], можно утверждать, что механизм ПТИ, в отличие от ТИ [7], весьма чувствителен к структуре вещества, что также подтверждается, судя по нашим предварительным данным, измерениями ПТИ в других веществах. Это обстоятельство целесообразно учесть при разработке новых методов структурного анализа вещества.

Сделанные выводы могут служить существенным дополнением к результатам работы [4], в которой исследовалось тормозное излучение электронов с энергией 900 МэВ в тяжелых металлах в диапазоне энергий фотонов $30 \div 100$ кэВ, но область более низких энергий ПТИ, отражающая структуру вещества, в условиях эксперимента [4] лежала вблизи порога детектирования (20 кэВ) и потому оказалась неразрешенной.

Авторы приносят свою искреннюю благодарность В. М. Аграновичу и Б. М. Болотовскому за обсуждение результатов работы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 96-02-17109).

Литература

1. Amusia M.Ya., Buimistrov V.M., Tzytovich V.N. et al. Polarization Bremsstrahlung of Particles and Atoms. N.Y.: Plenum Press, 1992.
2. Nasonov N. // Nucl. Instr. Meth. 1998. **B145**. P. 19.
3. Blazhevich S., Chepurinov A., Grishin V. et al. // Phys. Lett. 1996. **A211**. P. 309.
4. Амосов К.Ю., Верзилов В.А., Внуков И.Е. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1996. **63**. С. 145.
5. Blazhevich S., Grishin V., Nasonov N. et al. // Proc. Europ. Part. Acceler. Conf. (EPAC'98). Stockholm, 1998. P. 2458.
6. Блажевич С.В., Гришин В.К., Ииханов Б.С. и др. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1998. № 6. С. 50 (Moscow University Phys. Bull. 1998. No. 6).
7. Ter-Mikaelian M.L. High Energy Electromagnetic Processes in Condensed Media. N.Y.: Wiley, 1972.

Поступила в редакцию
19.05.99