

ОБНАРУЖЕНИЕ ЭФФЕКТА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ КОГЕРЕНТНОГО ТОРМОЗНОГО И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМОВ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛЕ

*С.В.Блажевич, Г.Л.Бочек, В.Б.Гавриков, В.И.Кулибаба, Н.И.Маслов,
Н.Н.Насонов, В.Н.Пирогов, А.Г.Сафронов, А.В.Торговкин*

*Харьковский физико-технический институт
310108 Харьков, Украина*

Поступила в редакцию 2 марта 1994 г.

Экспериментально исследовано когерентное рентгеновское излучение электронов с энергией 15 и 25 МэВ в кристалле кремния толщиной 30 мкм на системе атомных плоскостей (220). При этом впервые наблюдался предсказанный недавно теоретически эффект интерференции механизмов когерентного тормозного и параметрического излучения.

1. Упорядоченное расположение атомов в кристаллической решетке является причиной возникновения когерентных составляющих тормозного и поляризационного тормозного излучения движущейся в кристалле быстрой заряженной частицы. Когерентное тормозное излучение (КТИ) [1] детально изучено и широко используется для получения линейно поляризованных гамма-квантов высокой энергии [1,2]. Когерентное поляризационное тормозное излучение, обычно называемое параметрическим рентгеновским излучением (ПРИ) [3,4], интенсивно исследуется теоретически и экспериментально в настоящее время [5-7], что обусловлено его уникальными характеристиками (узкий спектр, высокая степень поляризации, остронаправленность и возможность плавного изменения энергии фотонов).

Необходимо отметить, что до последнего времени механизмы КТИ и ПРИ рассматривались раздельно. В работах [8,9] была теоретически показана возможность эффективной интерференции КТИ и ПРИ, существенно изменяющей характеристики полного излучения быстрой частицы (в частности, полное излучение становится зависящим от знака заряда частицы).

В настоящей работе сообщается о прямом экспериментальном наблюдении обсуждаемого интерференционного эффекта.

2. Оптимальные условия наблюдения интерференции ПРИ и КТИ (условия, при которых амплитуды обоих процессов оказываются близкими по абсолютной величине) для заданного угла наблюдения могут быть реализованы выбором энергии падающих заряженных частиц, а также системы атомных плоскостей, на которой будет формироваться когерентное излучение. В данной работе эксперимент был проведен на пучке электронов с энергией 15 и 25 МэВ. Была использована уже существующая установка для исследования ПРИ, основные характеристики которой опубликованы в работе [10]. В данной установке угол регистрации излучаемых фотонов ψ был жестко задан фотонным измерительным каналом и составлял величину 0,31 рад. Проведенный анализ показал, что в этих условиях наиболее удобной для наблюдения интерференции ПРИ и КТИ при использовании в качестве мишени кристалла кремния является кристаллографическая плоскость (220), поэтому в эксперименте был применен кристалл Si толщиной 30 мкм, вырезанный соответствующим образом.

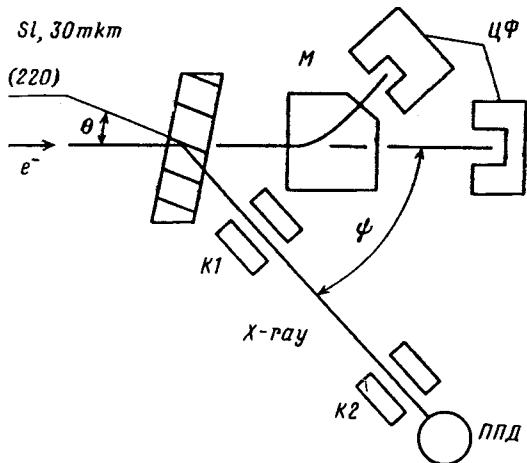


Рис.1. Схема эксперимента: $K1$ и $K2$ – коллиматоры, ЦФ – цилиндр Фарадея, M – отклоняющий магнит, ППД – полупроводниковый детектор рентгеновского излучения

В работе была измерена зависимость интенсивности когерентного излучения в заданный измерительным каналом телесный угол $\Delta\Omega = 1,23 \cdot 10^{-6}$ стерад от угла θ между плоскостью (220) и направлением движения пучка быстрых электронов (см. рис.1). Результаты измерения приведены на рис.2а для электронов с энергией 25 МэВ и на рис.2б для электронов с энергией 15 МэВ. Там же приведены результаты теоретического расчета ПРИ (кривая 1) и суммарного излучения ПРИ + КТИ (кривая 2).

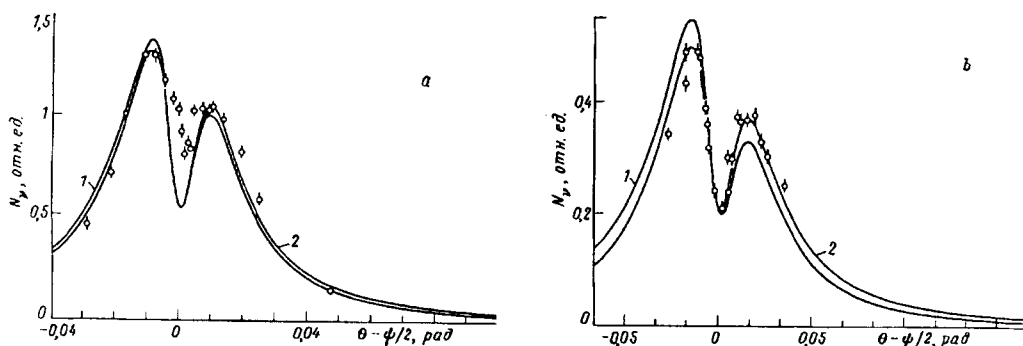


Рис.2. Ориентационная зависимость выхода рентгеновского излучения: а – энергия электронов 25 МэВ, б – 15 МэВ, точки – эксперимент; кривая 1 – выход ПРИ без учета интерференции (теория); 2 – полный выход излучения с учетом интерференции ПРИ и КТИ (теория)

Расчеты проведены для пучка электронов с расходимостью $0,75/\gamma$, где γ – лоренц-фактор электрона. Как показал анализ, расходимость электронного пучка порядка $1/\gamma$ практически не приводит к изменению соотношения интенсивностей в максимумах на ориентационной кривой.

3. Расположение экспериментальных точек на рис.2а подтверждает вывод теории [8,9] о подавляющем вкладе ПРИ в когерентном излучении электронов с энергией 25 МэВ в условиях данного эксперимента. С другой стороны, в когерентном излучении электронов с энергией 15 МэВ предсказывается значительный эффект интерференции механизмов КТИ и ПРИ, который выражается

в заметном изменении спектрально-углового распределения излучения и ориентационной зависимости. Совокупность экспериментальных точек на рис. 2б с высокой достоверностью подтверждает эти предсказания теории.

Таким образом, в данной работе впервые экспериментально исследовано когерентное излучение быстрых электронов в условиях интерференции механизмов КТИ и ПРИ. Обнаружен интерференционный эффект в ориентационной зависимости интенсивности излучения, подтверждающий предсказания теории [8,9], и показано хорошее согласие проведенных в рамках этой теории расчетов с результатами эксперимента.

Обнаруженный эффект значительно искажает характеристики когерентного излучения релятивистских заряженных частиц в кристалле при углах регистрации порядка нескольких γ^{-1} , поэтому его учет может иметь важное значение при практическом использовании рассматриваемого когерентного излучения.

Авторы выражают благодарность Б.М.Болотовскому и Я.Б.Файнбергу за обсуждение результатов работы.

-
1. М.Л.Тер-Микаэлян, Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях, Ереван. Изд. АН СССР, 1969.
 2. Coherent Radiation Sources, Edited by A.W.Saenz and H.Uberall, Springer-Verlag, 1985, 236p.
 3. Я.Б.Файнберг, Н.А.Хижняк, ЖЭТФ **32**, 885 (1957).
 4. В.Г.Барышевский, Каналирование, излучение и реакции в кристаллах при высоких энергиях. Минск, Изд. БГУ, 1982, 256 с.
 5. V.G.Baryshevsky, and I.D.Feranchuk, NIM A-228, 490 (1985).
 6. Yu.N.Adishev et al., NIM B-44, 130 (1989).
 7. В.В.Fiorito, D.W.Rule et al., NIM B-79, 758 (1993).
 8. А.О.Грубич, В.Л.Клейнер, Н.Н.Насонов, Тезисы докл. XX Всесоюзн. совещ. по физике взаимод. заряж. частиц с кристаллами, Москва, Изд. МГУ, 1990, с.69.
 9. V.L.Kleiner, N.N.Nasonov, and A.G.Safronov, Phys. Stat. Sol. B**181**, 223 (1994).
 10. А.И.Адейшвили, С.В.Блажевич, Г.Л.Бочек и др. ПТЭ №3, 50 (1989).