

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ю.Н.Адищев, В.А.Верзилов, С.А.Воробьев, А.П.Потылицын, С.Р.Углов

Впервые экспериментально установлено, что параметрическое рентгеновское излучение обладает высокой степенью линейной поляризации. Обнаружена зависимость положения плоскости максимальной линейной поляризации от азимутального угла излучения фотонов относительно брэгговского направления.

В 1985 году в экспериментах на Томском синхротроне был обнаружен новый тип электромагнитного излучения при прохождении ультрарелятивистских электронов через кристаллы^{1, 2} — параметрическое рентгеновское излучение (ПРИ). Позже ПРИ экспериментально наблюдалось на пучках электронов Ереванского синхротрона³ и ХФТИ (г. Харьков)⁴. В работах^{1–6} было показано, что ПРИ характеризуется линейчатым спектром с кратными значениями энергии фотонов и высокой спектрально-угловой плотностью в направлении брэгговских углов отражения от плоскостей кристалла.

Механизм генерации ПРИ можно рассматривать как динамическую дифракцию собственного поля релятивистских электронов на кристаллографических плоскостях кристалла. При рассмотрении собственного поля электрона, как набора псевдофотонов⁷, следует ожидать, что фотоны ПРИ, соответствующие брэгговскому рефлексу, в целом будут обладать линейной поляризацией примерно равной

$$P = \sin^2 2\theta_B / (2 - \sin^2 2\theta_B), \quad (1)$$

причем положение плоскости поляризации перпендикулярно плоскости рассеяния. Если же рассматривать фотоны, излученные в заданном направлении вблизи брэгговского угла, то согласно теоретическим оценкам зависимость степени поляризации и положения плоскости максимальной линейной поляризации от угла наблюдения будет более сложной, причем в зависимости от геометрии степень поляризации излучения может достигать единицы.

В настоящей работе представлены первые экспериментальные результаты по исследованию линейной поляризации ПРИ. Эксперимент проводился на монокристалле кремния толщиной $t = 0,35$ мм для (220) отражения. Угол падения релятивистских электронов с энергией $E = 900$ МэВ на плоскость (110) кристалле кремния составлял $\theta_B = 90^\circ$, при этом энергия квантов исследуемого излучения лежала в диапазоне $E_\gamma = 19,5 \div 21,5$ кэВ (в зависимости от угла детектирования относительно брэгговского направления). Общая схема эксперимента аналогична приведенной в работе⁶. Для исследования поляризации нами использовался комптоновский поляриметр, состоящий из двух детекторов (на основе кристаллов NaJ(Tl) размерами $\varnothing 19 \times 1$ мм²) и рассеивателя (плексиглас толщиной 1 мм). Детекторы располагались в плоскости, перпендикулярной брэгговскому направлению под азимутальным углом 90° относительно друг друга на расстоянии 50 мм от рассеивателя. Ось вращения поляриметра с помощью лазера совмещалась с брэгговским направлением с погрешностью не хуже $0,5^\circ$. Анализируемый пучок фотонов формировался коллиматором $\varnothing 4$ мм, расположенным на расстоянии 2100 мм от кристалла (что соответствовало угловому захвату $\Delta\theta_x = \Delta\theta_y = 0,5$ мрад) соосно оси вращения поляриметра.

Поляриметр совместно с коллиматором мог перемещаться в двух перпендикулярных направлениях (вдоль осей x и y , см. рис. 1а) как целое. Анализирующая способность поляриметра для данной геометрии эксперимента, рассчитывалась аналитически и составила $R = 0,96$. Угловое распределение рефлекса относительно брэгговского направления измерялось в независимом эксперименте, при перемещении поляриметра вместе с коллиматором вдоль осей

х и у. При этом вместо рассеивателя располагался пропорциональный счетчик ПС-16. Результаты измерений приведены на рис. 1б.

На рис. 1а цифрами I, II, III указаны области рефлекса ПРИ, в которых исследовалась линейная поляризация излучения. В эксперименте измерялась азимутальная зависимость $N(\varphi_i)$ выхода рассеянных квантов ПРИ в диапазоне изменения азимутального угла $0^\circ \leq \varphi_i < 360^\circ$.

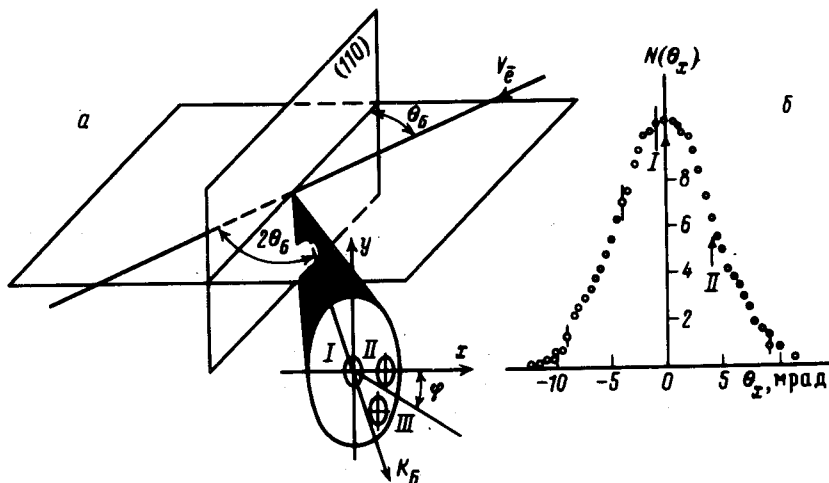


Рис. 1. а – Геометрия эксперимента; v_e – скорость начального электрона, k_B – брэгговское направление; б – угловое распределение рефлекса в горизонтальном направлении

Подобные измерения позволяют определить оба поляризационных параметра, характеризующих линейную поляризацию излучения (например, степень поляризации P и угол наклона плоскости максимальной линейной поляризации φ_0). Искомые величины входят в измеряемую зависимость следующим образом:

$$N(\varphi_i) = N_0 [1 + PR \cos 2(\varphi_i - \varphi_0)]. \quad (2)$$

На рис. 2а для иллюстрации приведены результаты измерения спектра рассеянных фотонов (с рассеивателем и без) для области II при горизонтальном ($\varphi = 0^\circ$) и вертикальном ($\varphi = 90^\circ$) расположении детекторов. Степень линейной поляризации P и угол наклона плоскости поляризации φ_0 , а также их погрешности определялись методом наименьших квадратов. Результаты приведены в таблице.

Область рефлекса	Угловые координаты коллиматора		P	φ_0 , град
	θ_x , мрад	θ_y , мрад		
I	$0 \pm 0,5$	$0 \pm 0,5$	$0,14 \pm 0,06$	$90,5 \pm 3,7$
II	$4,0 \pm 0,5$	$0 \pm 0,5$	$0,80 \pm 0,08$	$3 \pm 2,7$
III	$3,0 \pm 0,5$	$-3 \pm 0,5$	$0,82 \pm 0,12$	$-51,5 \pm 5,5$

На рис. 2б приведена измеренная зависимость $[N(\varphi_i) - N_0] / N_0$ для области II (сплошная кривая – результат подгонки). Как следует из результатов эксперимента, в брэгговском направлении (область I) поляризация минимальная, а угол наклона плоскости поля-

ризации соответствует положению плоскости поляризации для обычной дифракции рентгеновского излучения. Вне брэгговского направления наблюдается высокая степень линейной поляризации ($P = 0,8$), что хорошо согласуется с выводами теории ⁷. Для областей II и III плоскость поляризации совпадает с плоскостью, проходящей через импульс фотона и вектор, совпадающий с брэгговским направлением, т.е. наблюдается полная аналогия в поляризационных характеристиках ПРИ и изучения Вавилова – Черенкова ⁸. Этот факт является прямым доказательством того, что для энергий электронов $E \sim 1$ ГэВ и выбранной геометрии вклад дифрагированных фотонов тормозного и переходного излучения весьма мал по сравнению с параметрическим рентгеновским излучением.

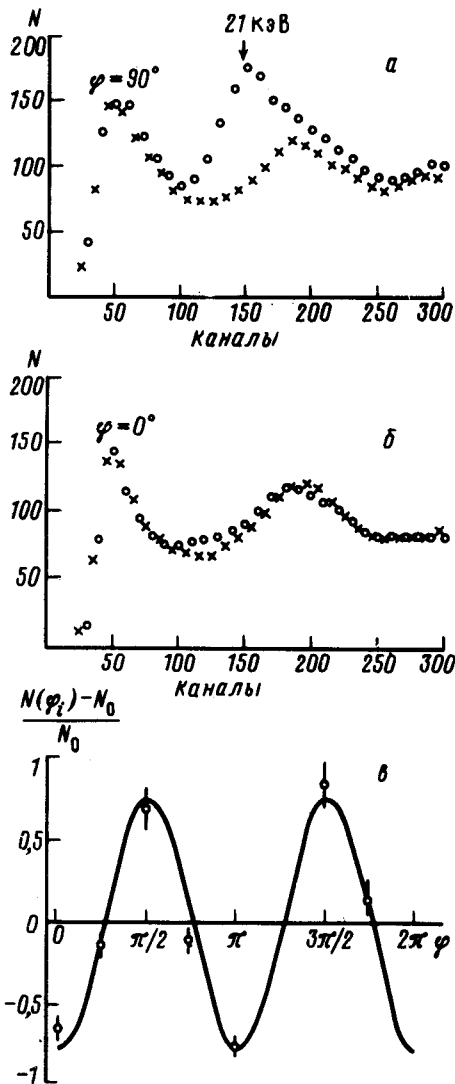


Рис. 2. а – Спектр рассеянных фотонов с рассеивателем (точки) и без (крестики); б – азимутальная зависимость выхода рассеянных фотонов для области II (точки – эксперимент, сплошная кривая – подгонка для $P = 0,80$)

Таким образом, используя внеосевую коллимацию пучка ПРИ можно получить источник рентгеновского излучения с высокой степенью поляризации и с заданным направлением плоскости поляризации, причем в отличие от дифракции рентгеновского излучения, где брэгговский угол однозначно определяет и энергию рассеянных фотонов и их поляризацию (см. формулу (1)), в случае ПРИ такой корреляции не наблюдается. Выбирая определенную область рефлекса можно получить высокую степень поляризации даже в случае малых θ_B (т.е. для жестких рассеянных фотонов).

Литература

1. Воробьев С.А., Калинин Б.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1985, 41, 3.
2. Адищев Ю.Н., Барышевский В.Г. и др. Письма в ЖЭТФ, 1985, 41, 295.
3. Авакян Р.Л., Гарибян Г.М. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 313.
4. Адейшвили Д.И., Блажевич С.В. и др. ДАН СССР, 1988, 298, 844.
5. Диденко А.Н., Адищев Ю.Н. и др. ДАН СССР, 1987, 296, 1359.
6. Адищев Ю.Н., Бабаджанов Р.Д. и др. ЖЭТФ, 1987, 93, 1943.
7. Афанасьев А.М., Агинян М.А. ЖЭТФ, 1978, 74, 570.
8. Зрелов В.П. Излучение Вавилова – Черенкова и его применение в физике высоких энергий. М.: Атомиздат, 1969.

Научно-исследовательский институт ядерной физики при
Томском политехническом институте им. С.М.Кирова

Поступила в редакцию
28 июля 1988 г.