

НАБЛЮДЕНИЕ РЕЗОНАНСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 900 МэВ ЭЛЕКТРОНОВ В СЛОИСТОЙ МИШЕНИ

*С.А.Воробьев, В.Н.Забаев, В.В.Каплин, Б.Н.Калинин,
А.П.Потылицын, Е.И.Розум, С.Р.Углов*

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

Поступила в редакцию 5 марта 1991 г.

Получено квазимонохроматичное рентгеновское излучение с энергией фотонов около 20 КэВ при прохождении 900 МэВ электронов через периодическую слоистую мишень из лавсана. Анализ измеренных спектрально-угловых характеристик излучения показывает, что наблюдается резонансное переходное излучение в рентгеновской области спектра.

Рентгеновское переходное излучение (РПИ) детально исследовано теоретически и экспериментально^{1,2} и широко используется в физике высоких энергий как основа для создания детекторов релятивистских частиц³. При этом отмечалось^{2,3}, что отсутствуют детальные экспериментальные исследования резонансного рентгеновского переходного излучения (РРПИ) для пучков частиц высоких энергий. Характеристики РРПИ исследованы для энергий электронов ниже 100 МэВ, обеспечивающих генерацию мягкого рентгеновского излучения с энергией фотонов около $E_\gamma \approx 2$ КэВ⁴.

В отличие от обычного переходного излучения РРПИ, определяемое интерференцией излучения в периодических структурах^{1,2}, отличается высокой монохроматичностью, высокой спектрально-угловой плотностью, пропорциональной квадрату числа N -слоев в радиаторе $dN_\gamma/dE_\gamma d\Omega \propto N^2$. При этом возможная энергия фотонов РРПИ пропорциональна E -энергии частиц, а спектрально-угловая плотность $dN_\gamma/dE_\gamma d\Omega \propto E^2$.

В данной работе приведены первые экспериментальные результаты, полученные на Томском синхротроне. Схема эксперимента приведена на рис. 1. Пучок электронов с энергией $E = 900$ МэВ, угловой расходимостью около 10^{-4} рад и монохроматичностью 0,5%, сбрасывался на мишень в течение $\tau = 2 \cdot 10^{-2}$ с. Мишень, установленная в камере ускорителя, состояла из 10 лавсановых пленок толщиной $l_1 = 12$ мкм с вакуумными промежутками между ними шириной $l_2 = 24$ мкм. Угол между плоскостями пленок мишени и осью пучка составлял 70° . Мишень была изготовлена из расчета получить резонансное излучение с энергией около 20 КэВ под углом $\theta_\gamma \approx 3\gamma^{-1}$ к пучку электронов.

Генерируемый в мишени рентгеновский пучок выходил из вакуумной камеры синхротрона через бериллиевый фланец толщиной 200 мкм. На расстоянии 630 см от мишени размещался графитовый рассеиватель размерами $4 \times 4 \times 4$ мм. С помощью специальной механической системы на шаговых двигателях рассеиватель можно было перемещать в двух взаимоперпендикулярных x, y -направлениях и устанавливать в выбранной части конуса излучения.

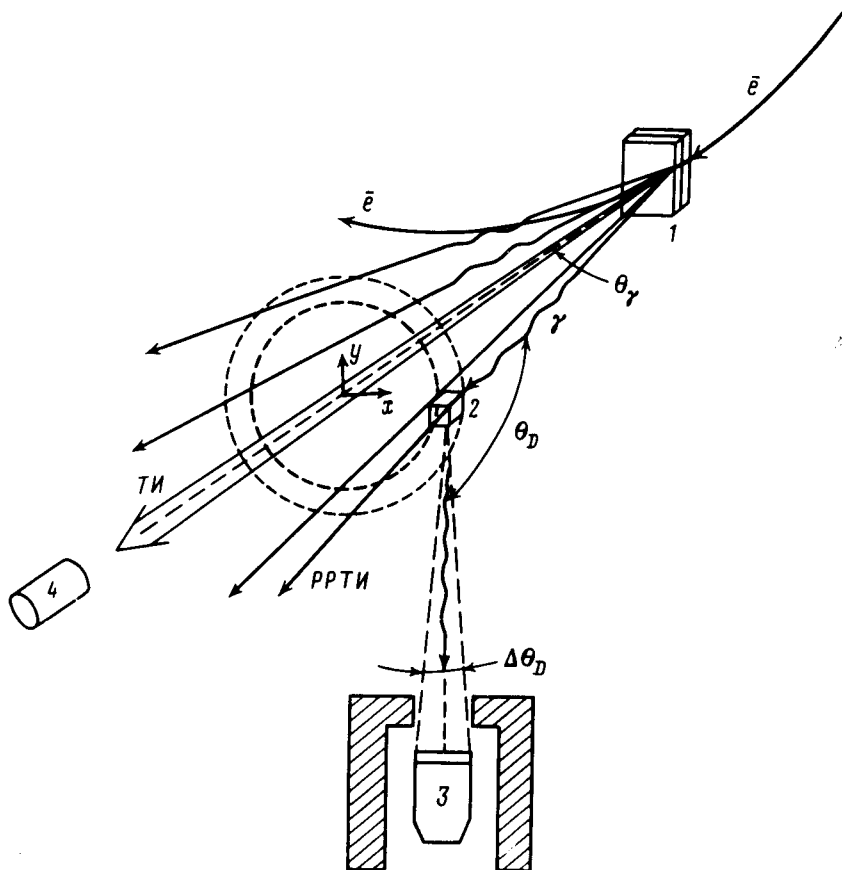


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 - слоистая мишень, 2 - графитовый рассеиватель рентгеновского излучения, 3 - детектор, 4 - квантометр

Детектором рентгеновского излучения служил сцинтилляционный спектрометр на основе кристалла $\text{NaJ}(\text{Tl})$ толщиной 1 мм с бериллиевым входным окном. Энергетическое разрешение на линии Co^{57} с $E_\gamma = 14$ КэВ составляло 50%, на линии Am^{134} с $E_\gamma = 59,6$ КэВ - 25%. Спектрометр размещался под углом $\theta_D = 90^\circ$ к оси рентгеновского пучка, был конструктивно жестко связан с рассеивателем и перемещался вместе с ним. При этом угловой захват детектора оставался неизменным и составлял $\Delta\theta_D = 2,2 \cdot 10^{-2}$ ср. Методика регистрации спектрометрической информации описана в работе ⁶.

На рис. 2 приведены угловые распределения рентгеновского излучения, генерированного в слоистой мишени, полученные при перемещении рассеивателя перпендикулярно оси пучка в горизонтальной плоскости. Кривая 1 иллюстрирует угловое распределение рентгеновских фотонов с энергиями в интервале $E_\gamma = 10 \div 40$ КэВ, для кривой 2 - $E_\gamma > 60$ КэВ. В первом случае интервал энергий регистрируемых фотонов перекрывает с учетом энергетического разрешения детектора диапазон, в котором лежит предполагаемая резонансная

частота РПИ. Вид кривой 1 свидетельствует о том, что регистрируемая в данном случае фракция излучения распределена в пространстве вблизи конической поверхности с углом раствора $\theta_\gamma = 3\gamma^{-1}$, где $\gamma^{-1} = m_0c^2/E = 0,57$ рад. Отметим, что нерезонансное РПИ испускается, в основном, под углом $\theta_\gamma \approx \gamma^{-1}$ к направлению пучка электронов.

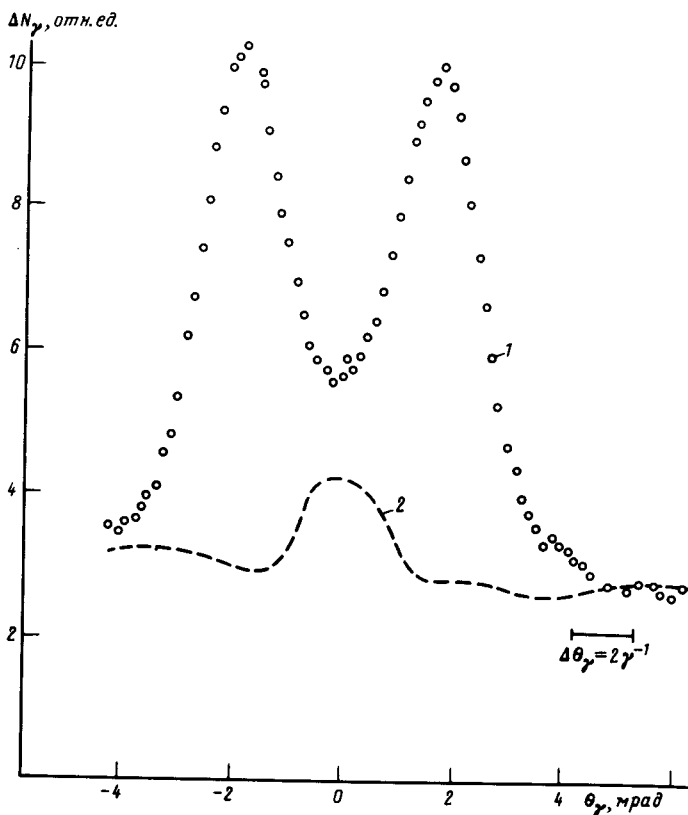


Рис. 2. Угловые распределения рентгеновского излучения с энергиями фотонов в области $E_\gamma = 10 \div 40$ КэВ, кривая 1, и $E_\gamma > 60$ КэВ, кривая 2

Во втором случае регистрируется, в основном, тормозное излучение, направленное вдоль оси пучка и сосредоточенное в пределах конуса $\theta_\gamma = \gamma^{-1}$.

На рис. 3 приведены спектры излучения, измеренные при установке графитового рассеивателя под углом $\theta_\gamma = 3\gamma^{-1}$, кривая 1 и $\theta_\gamma = 2,3\gamma^{-1}$, кривая 2. При расположении рассеивателя в положении максимума на кривой 1, рис. 2, в спектре рассеянного излучения наблюдается пик на энергии фотонов $E_\gamma = 18$ КэВ, что соответствует с учетом эффекта Комптона, энергии излучаемых фотонов $E_\gamma = 18,7$ КэВ. Угол излучения θ_γ связан с энергией E_γ фотонов РПИ соотношением ⁵

$$\theta_\gamma^2 = \frac{2r\lambda_\gamma}{l_1 + l_2} - \gamma^{-2} - \frac{l_1}{l_1 + l_2} \left(\frac{E_p}{E_\gamma} \right)^2, \quad r = 1, 2, \dots; \quad (1)$$

где λ_γ - длина волны излучения, E_p - энергия плазмона среды; которое следует из условия резонанса ¹ рентгеновского излучения генерируемого в пластине радиатора. Расчетное значение $\theta_\gamma (r = 1)$ для энергии фотонов $E_\gamma = 18,7$ КэВ составляет 1,6 мрад, что удовлетворительно согласуется с фактическим углом расположения рассеивателя $\theta_\gamma = 1,7$ мрад.

При перемещении рассеивателя в положении $\theta_\gamma = 2,3\gamma^{-1}$ пик в спектре излучения смещается вправо, интенсивность его резко снижается, что подтверждает его резонансную природу.

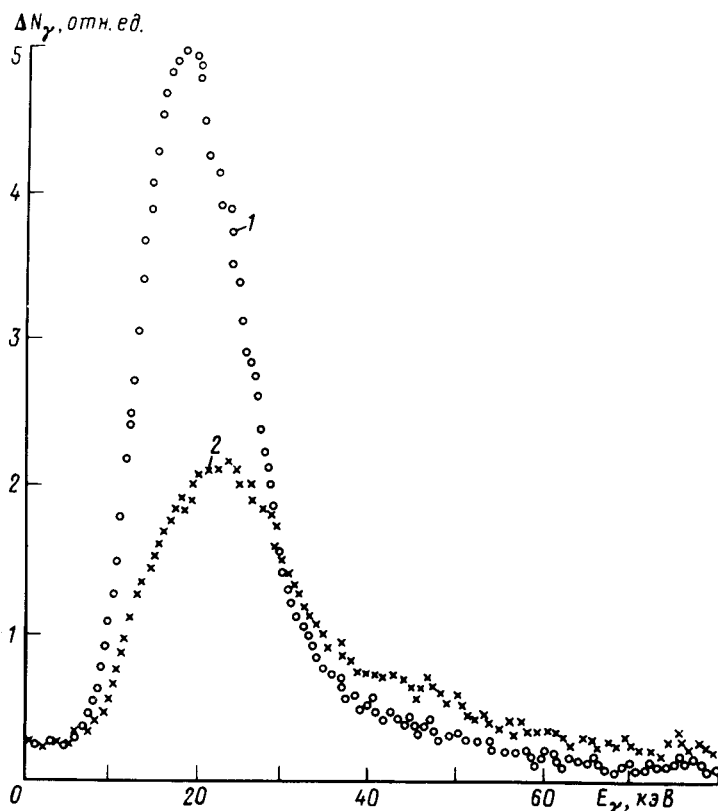


Рис. 3. Спектры рентгеновского излучения рассеянного на углы около 90° относительно направления пучка электронов. Кривая 1 измерена при графитовом рассеивателе, установленном под углом $\theta_\gamma = 3\gamma^{-1}$ к направлению пучка электронов, кривая 2 - под углом $\theta_\gamma = 2,3\gamma^{-1}$

Оценка выхода рентгеновских фотонов в спектральном пике и излучаемых в апертуру рассеивателя, сделанная с учетом поглощения в мишени, выходном фланце камеры синхротрона, по пути в воздухе, а также с учетом эффективности рассеивателя и спектрометра, дает $\Delta N_\gamma \approx 10^{-3}$ фотон/ e^- . Это соответствует угловой плотности РРПИ около $5 \cdot 10^3$ фотонов/ e^- -ср. Сравнение с экспериментами ⁷⁻⁹ показывает, что эта величина существенно превосходит соответствующие величины для излучения при каналировании (ИК) и параметрического рентгеновского излучения (ПРИ). Угловые плотности этих видов излучения в области энергий фотонов в десятки КэВ приблизительно соотносятся как РРПИ : ИК : ПРИ $\approx 1 : 10^{-3} : 10^{-6}$. Это указывает на возможность создания на основе РРПИ высокоинтенсивного источника квазимонохроматического рентгеновского излучения с возможной энергией фотонов вплоть до нескольких сотен КэВ, при использовании пучков электронов ГэВ-ных энергий.

Литература

1. Тер-Микаелян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1969.
2. Гарибян Г.М., Ян Ши. Рентгеновское переходное излучение. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1983.

3. Оганесян А.Г. Физика элементарных частиц и атомного ядра. М.: Энергоатомиздат, 1985, Т.16.В.1.С.137.
 4. Piestrup M.A., Kehart I.O., Park H. et al. Phys. Rev. A, 1985, 32, 917.
 5. Cherry M.L. Phys. Rev. D, 1978, 17, 2245.
 6. Андреяшкин М.Ю., Забаев В.Н., Калинин Б.Н. и др. ПТЭ, 1989, №6, 55.
 7. Bergman B.L., Kerhart I.O., Pantell R.H. et al. In Relativistic Channeling. Plenum Publishing Corporation, 1987.
 8. Воробьев С.А., Калинин Б.Н., Пак С., Потылицын А.П. Письма в ЖЭТФ, 1987, 41, 3.
 9. Аванян Р.О., Аветисян А.Э., Адищев Ю.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 313.
-