

**КВАЗИМОНОХРОМАТИЧЕСКИЙ ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ  
ПУЧОК ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ  
ФТИ АН УССР**

Ю. В. ЖЕБРОВСКИЙ, Л. Я. КОЛЕСНИКОВ, И. И. МИРОШНИЧЕНКО,  
Л. М. РОМАСЬКО, А. Л. РУБАШКИН, П. В. СОРОКИН, В. Г. ГОРБЕНКО

*Физико-технический институт АН УССР, Харьков*

Р. О. АВАКЯН, Л. Г. АРУТЮНЯН

*Ереванский физический институт*

Для исследования реакций фоторождения элементарных частиц в ФТИ АН УССР на линейном ускорителе электронов с максимальной энергией  $E = 2$  Гэв получен пучок квазимонохроматических поляризованных  $\gamma$ -квантов методом когерентного тормозного излучения в кристаллическом радиаторе [1—4].

Большая скважность линейного ускорителя ( $10^4$ ) делает невозможным использование парного спектрометра для исследования параметров фотонного пучка из-за значительного фона случайных совпадений. С другой стороны, выведенный интенсивный пучок электронов линейного ускорителя легко мониторируется. Учитывая эти обстоятельства, была разработана методика анализа параметров когерентного тормозного излучения, основанная на измерении спектра вторичных электронов (фотону с энергией  $K$  соответствует вторичный электрон энергии  $E_2 = E_0 - K$ ). Изучена также зависимость интегральной интенсивности и выхода вторичных электронов определенной энергии от углов ориентации кристаллических осей относительно импульса начального электрона. Степень поляризации квазимонохроматического фотонного пучка измерялась с помощью реакции  $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0$  используя расчетное значение асимметрии фотообразования  $\pi^0$ -мезонов в районе первого  $\pi N$ -резонанса [5—6].

Схема размещения экспериментального оборудования представлена на рис. 1. Электронный пучок линейного ускорителя с энергетическим разбросом  $\Delta E_0/E_0=1\%$  фокусировался квадрупольными линзами (3) на кристаллический радиатор, установленный в гониометре (6). При расходимости пучка  $10^{-3} \div 10^{-4}$  рад его размер не превышал  $3 \times 10$  мм<sup>2</sup>. Средний электронный ток непрерывно измерялся монитором вторичной эмиссии (5) и составлял 0,2 мка.

Пучок  $\gamma$ -квантов очищался от заряженных частиц магнитом (7), который одновременно использовался в качестве спектрометра вторичных электронов с разрешением  $\Delta E_2/E_2=4\%$ .

Пройдя два раздвижных свинцовых коллиматора (10), фотоны попадали на мишень (15). Продукты реакций фоторождения после анализа по импульсам магнитным спектрометром (17) регистрировались телескопом сцинтилляционных счетчиков. Угол коллимации пучка  $\gamma$  квантов составлял  $5 \cdot 10^{-4}$  рад. Интенсивность фотонов измерялась квантометром полного поглощения (20), ток с которого регистрировался пересчетным устройством и самопишущим электронным потенциометром.

Пучок квазимонохроматических поляризованных  $\gamma$ -квантов получался в результате когерентного тормозного излучения электронов на алмазе, толщиной 2 мм, вырезанного перпендикулярно осям  $\vec{b}_1=[110]$ ,  $\vec{b}_2=[\bar{1}10]$  и  $\vec{b}_3=[001]$ . Ориентация кристалла относительно импульса первичного электрона  $\vec{p}_0$  на углы  $\theta$  и  $\alpha$  ( $\theta$  — угол между  $\vec{p}_0$  и осью кристалла  $\vec{b}_1$ ,  $\alpha$  — азимутальный угол, определяемый плоскостями  $(\vec{p}_0, \vec{b}_1)$  и  $(\vec{b}_1, \vec{b}_2)$ ) производилась вращениями вокруг вертикальной и горизонтальной осей гониометра на углы  $\Phi_{\text{верт}}$  и  $\Phi_{\text{гор}}$  в диапазоне  $\pm 6^\circ$  с точностью отсчета  $5 \cdot 10^{-5}$  рад. Поворотом кристалла вокруг оси  $\vec{b}_1$  на угол  $\pm 90^\circ$  можно изменять направление вектора поляризации фотонов с вертикального на горизонтальное. Управление гониометром и отсчет углов дистанционное. Представленная на рис. 2 зависимость интегральной интенсивности когерентного тормозного излучения от угла  $\theta$  использовалась для определения начальной ориентации кристалла, при которой  $\vec{p}_0$  совпадает с осью  $\vec{b}_1$  ( $\theta=0$ ).

Пунктирная кривая — расчетная, кружками показаны экспериментальные точки, измеренные при энергии электронов 1150 Мэв. При вращении кристалла алмаза вокруг вертикальной оси импульс  $\vec{p}_0$  оставался в плоскости  $(\vec{b}_1, \vec{b}_2)$  то есть  $\alpha=0$ . С уменьшением угла  $\theta$  в ходе расчетной кривой наблюдается пик, а начиная с  $\theta=0,3$  мрад, интеграль-

ная интенсивность резко падает и при  $\theta = 0$  достигает уровня аморфной части. Такая характерная зависимость интегральной интенсивности когерентного тормозного излучения позволила установить начальную ориентацию кристалла с точностью не хуже 0,3 мрад.

Следует отметить, что расходимость электронного пучка больше  $10^{-3}$  рад может значительно исказить когерентный эффект при малых значениях угла  $\theta$ , и резкий провал, соответствующий «нулю» кристалла, будет не разрешен. Это обстоятельство, однако, не влияет на точность определения углов начальной ориентации кристалла.

Зависимость выхода вторичных электронов от угла вращения кристалла алмаза вокруг вертикальной оси при  $\Phi_{гор} = 50$  мрад, представлена на рис. 3а. Энергия вторичных электронов  $E_2 = 900$  Мэв соответствовала относительной энергии фотонов  $x = \frac{k}{E_0} = 0,25$  ( $E_0 = 1200$  мэв)

Наблюдаемые пики обусловлены вкладами в поперечное сечение когерентного тормозного излучения двух отдельных узлов обратной решетки кристалла алмаза (020) и  $(0\bar{2}0)$ . Некоторая асимметрия в расположении пиков относительно  $\Phi_{верт} = 0$  вызвана небольшим углом между

кристаллической осью  $\vec{b}_1$  и горизонтальной осью вращения в гониметре. Анализ экспериментальных данных позволил оценить этот угол, который оказался равным  $-2^{\circ}09' \pm 0^{\circ}32'$ .

Сплошной линией показана расчетная кривая, исправленная на конечное разрешение спектрометра вторичных электронов. Теоретическая зависимость поляризации когерентного тормозного излучения от углов ориентации кристалла алмаза приведена на рис. 3в.

На рис. 4а приведен расчетный спектр интенсивности квазимонохроматических поляризованных  $\gamma$ -квантов для алмаза при  $E = 1070$  Мэв. Углы ориентации кристалла  $\theta = 50$  мрад и  $\alpha = 84^{\circ}20'$  соответствуют основному вкладу в поперечное сечение когерентного тормозного излучения узла обратной решетки (020). Угловая расходимость электронного пучка принималась в расчете равной  $\omega_0 = 10^{-3}$  рад, угол многократного рассеяния в радиаторе  $\omega_n = 5,75 \cdot 10^{-4}$  рад, угол коллимации фотонов  $U_0 = 4,8 \cdot 10^{-4}$  рад. Экспериментальные точки измерены в тех же условиях с помощью методики регистрации вторичных электронов. Теоретическая кривая исправлена на конечное разрешение спектрометра.

Расчетный спектр поляризации  $\gamma$ -квантов показан на рис. 4б.

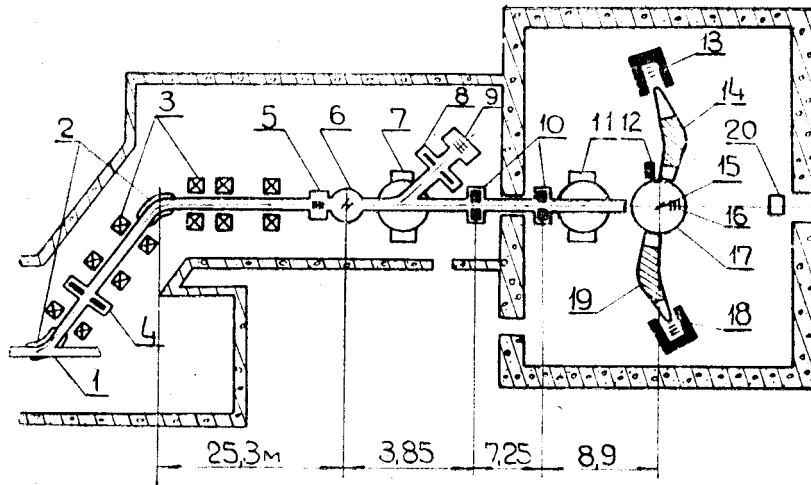


Рис. 1. Схема расположения экспериментального оборудования. 1—электронопровод; 2—поворотные магниты параллельного переноса пучка; 3—квадрупольные линзы; 4,8—коллиматоры-монокроматоры; 5, 9, 16 — мониторы вторичной эмиссии; 6—гониметр, кристаллический радиатор; 7, 11 — очищающие магниты; 10—коллиматоры фотонов; 12—цилиндр Фарадея; 14,17 — магнитные спектрометры; 13, 18 — регистрирующая аппаратура; 15 — мишень для исследования реакций фоторождения; 20—квантометр.

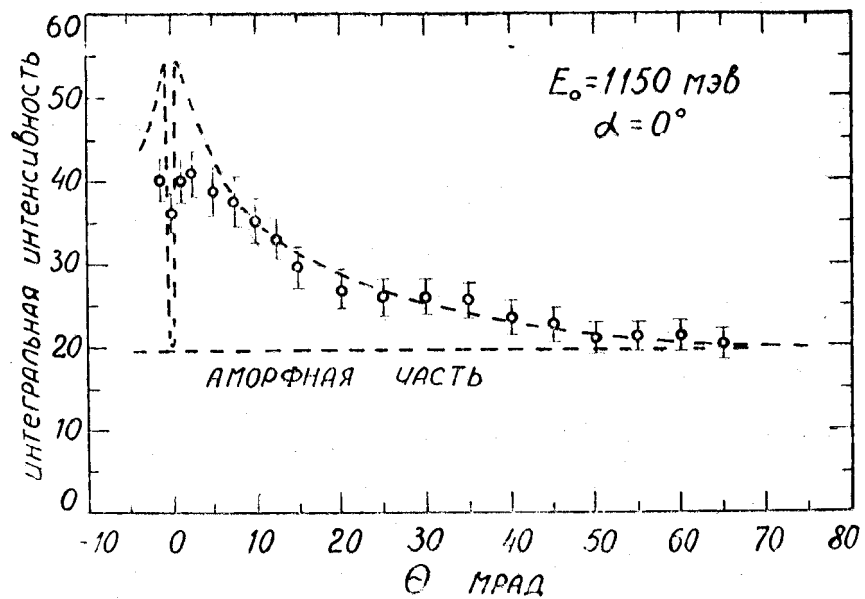


Рис. 2. Зависимость интегральной интенсивности фотонов от угла ориентации  $\theta$  для кристалла алмаза. Пунктирная кривая — теоретическая

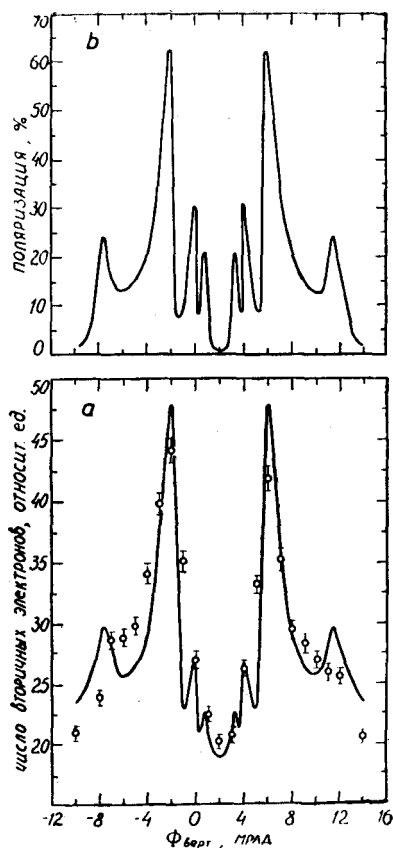


Рис. 3. Зависимости выхода вторичных электронов (а) и поляризации когерентного тормозного излучения (б) от углов ориентации кристалла.  $\Phi_{\text{гор}} = 50$  мрад.  $E_0 = 1200$  Мэв,  $E_2 = 900$  Мэв ( $X = 0,25$ ).

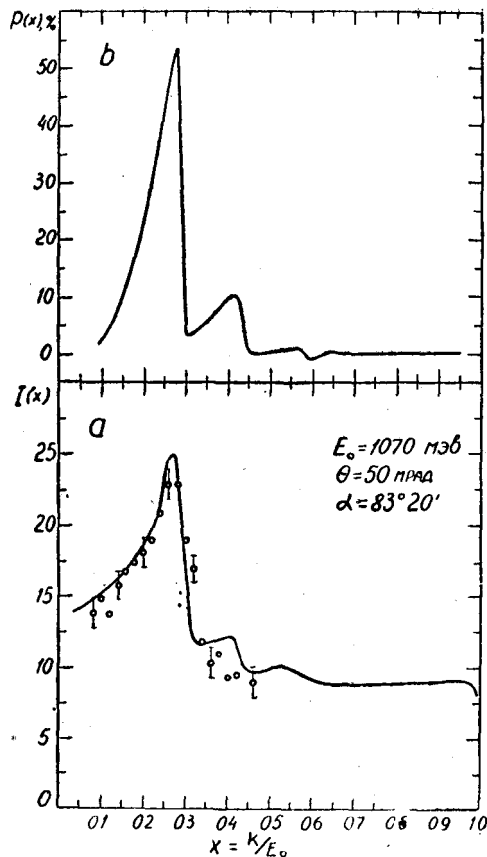


Рис. 4. Спектры интенсивности (а) и поляризации (б) когерентного тормозного излучения на алмазе. Интенсивность  $I(x)$  отложена в относительных единицах

$$\omega_0 = 10^{-3} \text{ рад}, \quad \omega_M = 5,75 \cdot 10^{-4} \text{ рад}, \\ U_0 = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. H. Uberall Phys. Rev. 103, 1055 1956.
2. G. Barbiellini, G. Bologna, G. Diambri, G. P. Murtis  
Phys. Rev. Lett. 8,112 1962;  
Phys. Rev. Lett. 8,454 1962;  
Phys. Rev. Lett. 9,396 1962;
3. G. Bologna, G. Lutz, H. D. Schulz et al  
Nuovo Cimento 42, 844 1966.
4. T. Kifune, Y. Kimura et al J. of Phys. Soc. Japan, 21, 1905 1966.
5. D. J. Drichey, R. F. Morly Phys. Rev. 136, 2B, 543 1964.
6. Ю. П. Антуфьев, Ю. В. Жебровский, Л. Я. Колесников и др., Ядерная физика, 9, 4, 680, 1969.