

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДА ТОРМОЗНЫХ ФОТОНОВ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В КРИСТАЛЛАХ

*Р.О. Авакян, А.А. Армагян, Л.Г. Арутюнян  
С.М. Дарбинян, Н.П. Калашников*

Проведены экспериментальные и теоретические исследования ориентационной зависимости дифференциального сечения тормозного излучения жестких фотонов от угла влета сверхбыстрых электронов в монокристалл. Предсказано и обнаружено сильное уменьшение выхода тормозных фотонов предельной энергии вблизи нулевого угла влета.

Когерентное тормозное излучение электронов в кристалле приводит к появлению максимумов и минимумов в спектре излученных фотонов [1 — 3]. Расчеты, проведенные в рамках теории возмущений, приводят к появлению характерной длины, на которой разыгрывается процесс

$$l \sim \frac{2E_0}{m} \frac{1-x}{x}, \text{ где } m, E_0 - \text{ масса и энергия начального электрона,}$$

$x = \omega/E_0$ ,  $\omega$  — энергия излученного фотона. При  $x \sim 0,1 \div 0,3$   $l > a$ , где  $a$  — постоянная решетки, процесс происходит когерентно. При  $x \sim 1$   $l < a$  и атомы кристалла излучают независимо — нет зависимости от угла влета электронов в кристалл. Однако выход за рамки теории воз-

мущений с помощью эйконального приближения Шиффа [4] для рассмотрения рассеяния [5] и тормозного излучения [6] приводит к существенно новым результатам — ориентационной зависимости выхода тормозных фотонов предельной энергии от угла влета электронов в кристалл.

С целью наблюдения указанной ориентационной зависимости на Ереванском ускорителе с энергией электронов  $4,5 \text{ Гэв}$  проведено экспериментальное исследование выхода тормозных фотонов энергии  $4,38 \text{ Гэв}$ . Электронный пучок падал на алмазную пластинку параллельно оси [100], установленную в гониометре. Точность установки углов  $\pm 0,04 \text{ мрад}$ . Тормозные  $\gamma$ -кванты очищались от заряженных частиц двумя очищающими магнитами и коллимировались в пределах угла  $0,16 \text{ мрад}$ . В эксперименте парным  $\gamma$ -спектрометром измерялось число электрон-позитронных пар, соответствующих энергии  $\gamma$ -квантов  $4,38 \text{ Гэв}$ . Энергия фотонов измерялась с точностью  $1,2\%$ . Результаты экспериментальных измерений приведены на рисунке.

Теоретические вычисления проведены с помощью эйконального приближения (см., например [6]). В расчетах взаимодействие электронов с атомами кристалла описывалось не по теории возмущений, но взаимодействие с полем излучения рассматривалось как возмущение. Так как начальный электрон движется почти параллельно к кристаллографической оси, то учитывалось изменение фазы только в начальном состоянии электрона. Кроме того, при больших передачах импульса ( $x \sim 1$ ), можно посчитать сечение на одной цепочке и окончательный результат умножить на число атомов в плоскости, перпендикулярной импульсу начального электрона.

Исходя из сказанного, для дифференциального сечения тормозного излучения фотонов предельной энергии в монокристалле получим выражение

$$d\sigma_{\text{торм}} = d\sigma_{\text{торм}}^{\text{теор.возм.}} \left\{ \frac{\pi\beta}{2NZe^2} + \frac{1 + 2 \left( \frac{2Ze^2}{\beta am} \psi^{-1} \ln \frac{2m}{\gamma\kappa} \right)^2}{\left[ 1 + 4 \left( \frac{2Ze^2}{\beta am} \psi^{-1} \ln \frac{2m}{\gamma\kappa} \right)^4 \right]^{3/2}} \right\}. \quad (1)$$

$N$  — число атомов в цепочке,  $\kappa$  — обратный радиус экранировки,  $\psi$  — угол влета,  $\ln \gamma = C = 0,577$  — постоянная Эйлера. При выводе (1) пренебрегалось тепловыми колебаниями атомов решетки.

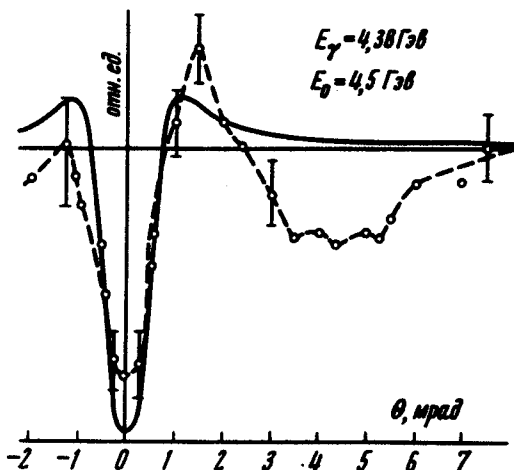
Вблизи нулевого угла влета  $\psi \rightarrow 0$  из (1) следует сильное уменьшение выхода тормозных фотонов:

$$d\sigma_{\text{торм}}(\psi = 0) = d\sigma_{\text{торм}}^{\text{теор.возм.}} \frac{\pi\beta}{2NZe^2} \quad (2)$$

Характерный угловой размер минимума определяется величиной

$$\psi_0 = \frac{2Ze^2}{\beta am} \ln \frac{2m}{\gamma\kappa}. \quad (3)$$

При  $\psi < \psi_0$  сечение ведет себя как  $d\sigma \sim \psi^4$ , а при  $\psi > \psi_0$  как  $d\sigma \sim \sim A + B/\psi^2$ . При  $\psi = 1,1$  мрад. в сечении имеется максимум. При дальнейшем увеличении угла влета  $\psi \gg \psi_0$  дифференциальное сечение тормозного излучения жестких фотонов определяется выражением, вычисленным по теории возмущений.



Выход тормозных  $\gamma$ -квантов на кристалле алмаза в зависимости от угла влета электронов относительно оси [100]. Импульс электронов лежит в плоскости (001). Пунктирная кривая экспериментальная, сплошная кривая по формуле (1). Прямая линия — теория возмущений

Наблюденный эффект в пределах экспериментальных ошибок согласуется с теоретическим выражением (1). Однако, теоретическое значение сечения меньше экспериментального в минимуме. Это обстоятельство связано с тем, что при теоретическом анализе не учитывалась начальная расходимость электронного пучка, а также тепловые колебания атомов решетки.

Ереванский  
физический институт

Поступила в редакцию  
10 февраля 1975 г.

### Литература

- [1] М.Л.Тер-Микасян. ЖЭТФ, 25, 296, 1952.
- [2] Н. Überall. Phys. Rev., 103, 1055, 1956.
- [3] G. Diambri. Rev. Mod. Phys., 40, 611, 1968.
- [4] L. I. Schiff. Phys. Rev., 103, 443, 1956.
- [5] Н.П.Калашников, Э.А. Коптелов. ФТТ, 15, 1668, 1973.
- [6] Н.П.Калашников. ЖЭТФ, 64, 1425, 1973.