

## ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРОТОНОВ И $\mu$ -МЕЗОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ НА КРИСТАЛЛЕ АЛМАЗА

Р. О. АВАКЯН, А. А. АРМАГАНЯН

Исследуется интерференционное тормозное излучение протонов и  $\mu$ -мезонов высоких энергий (десятки Гэв) на кристалле алмаза. Интерференционные явления появляются в тормозном спектре для фотонов низких энергий (в Кэв-ной области).

В работах [1, 2] теоретически было предсказано, а затем экспериментально показано, что электроны высоких энергий в кристалле испускают тормозное излучение отличное от тормозного излучения в аморфном веществе. Спектр тормозного излучения в кристалле характеризуется определенными четко выраженными линиями при некоторых энергиях  $\gamma$ -кванта. Энергия  $\gamma$ -кванта, при которой возникает пик в спектре тормозного излучения, зависит от постоянных кристаллической решетки, от угла влета электрона в кристалл и начальной энергии электрона [3, 4].

С увеличением начальной энергии частиц становится возможным наблюдение когерентного тормозного излучения для более тяжелых частиц, протонов и  $\mu$ -мезонов, при малых энергиях излученных фотонов. Условием появления когерентности тормозного излучения для заряженной частицы будет

$$1/\delta = \frac{2E_0}{m_e c^2} \frac{1}{x} \left( \frac{m_e}{m_{\mu,p}} \right)^2 \gg d, \quad \delta = \frac{m_e c^2}{2E_0} \frac{x}{1-x}, \quad (1)$$

где  $E_0$  — начальная энергия падающей частицы,  $x = \frac{k}{E_0}$ ,  $k$  — энергия излученного фотона,  $d$  — постоянная кристаллической решетки,  $m_e$  — масса электрона,  $m_{\mu,p}$  — масса протона или  $\mu$ -мезона.

Подсчитаем интенсивность тормозного излучения протонов и  $\mu$ -мезонов на кристалле алмаза. Пучок направлен под углом  $\theta$  к оси [110] и лежит в плоскости  $[[1\bar{1}0\ 001]]$ . Начальная энергия  $\mu$ -мезонов равна 10 Гэв, протонов — 70 Гэв. Расчет проводился по формуле

$$I = \frac{d\sigma}{dx} \frac{x}{\sigma N} = 2(\psi_1 + 16,2) - \frac{2}{3}(\psi_2 + 17,0), \quad (2)$$

где

$$\psi_1 = \frac{(2\pi)^2}{\Delta} 4\delta \sum_g |F|^2 \frac{e^{-Ag^2}}{(\beta^{-2} + g^2)^2} \frac{g^2}{g^2 \theta^2},$$

$$\psi_2 = \frac{(2\pi)^2}{\Delta} 24\delta^2 \sum_g |F|^2 \frac{e^{-Ag^2}}{(\beta^{-2} + g^2)^2} \frac{g^2}{g^2 \theta^4} (g_2 \theta - \delta),$$

$|F|^2$  — структурный фактор,  $g_2$  — проекция вектора обратной решетки,  $\beta = 111 \cdot z^{-1/3}$ ,  $\Delta$  — объем фундаментальной ячейки алмаза,  $\bar{\sigma} = \frac{z^2 r_0^2}{137}$ ,  $N$  —

число атомов в объеме кристалла, охваченного пучком падающих частиц. Кривые интенсивности тормозного излучения  $\mu$ -мезонов и протонов показаны на рисунках 1, 2, 3 и 4. Подбором угла  $\theta$  можно полу-

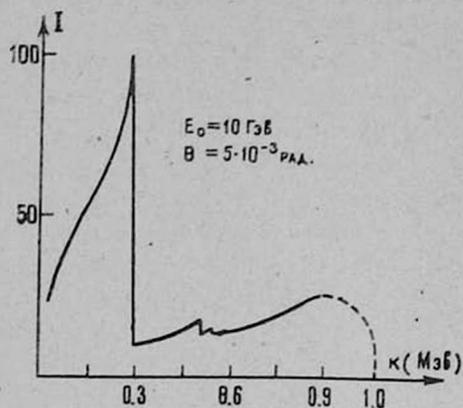


Рис. 1. Энергетический спектр тормозного излучения  $\mu$ -мезонов с начальной энергией 10 Гэв и углом влета в кристалл  $5 \cdot 10^{-3}$  радиан.

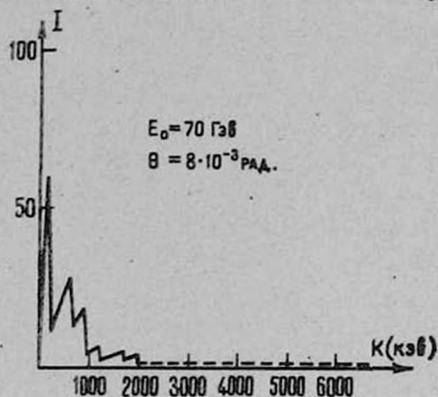


Рис. 2. Энергетический спектр тормозного излучения протонов с начальной энергией 70 Гэв и углом влета в кристалл  $8 \cdot 10^{-3}$  радиан. По оси ординат

отложена величина  $\frac{d\tau}{dx} \frac{x}{\sigma N}$ .

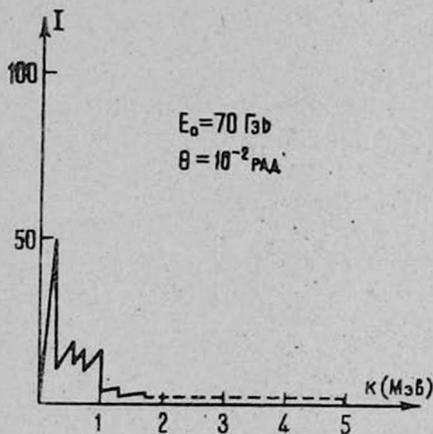


Рис. 3. Спектр тормозного излучения протонов при  $E_0 = 70$  Гэв,  $\theta = 10^{-2}$  радиан.

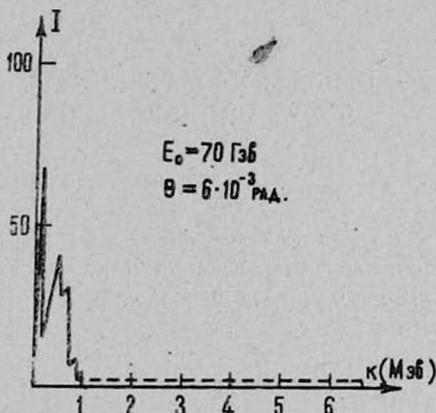


Рис. 4. Спектр тормозного излучения протонов при  $E_0 = 70$  Гэв,  $\theta = 6 \cdot 10^{-3}$  радиан.

чить пики в спектрах тормозного излучения  $\mu$ -мезонов и протонов в области фотонных энергий от нескольких десятков до сотен Кэв. Энергии фотонов, при которых появляются пики в спектре, в нашем случае, когда импульс частицы лежит в плоскости  $[[1\bar{1}0\ 001]]$ , определяются по следующей формуле:

$$x_{\text{пик}} = \frac{2E_0}{m_e c^2} \left( \frac{m_e}{m_{\nu p}} \right)^2 \frac{1}{g_2 \theta} \quad (3)$$

Как видно из формулы (3), имеется прямая зависимость между пиковой энергией испущенных фотонов и начальной энергией пучка заряженных частиц. Измерение пиковой энергии фотонов в тормозном спектре при известных угле влета  $\theta$  и кристаллических характеристиках мишени дает сведения о начальной энергии пучка частиц. Оценки показывают, что число испущенных фотонов достаточно для изучения этого явления на протонных ускорителях. Так, например, для протонного пучка с начальной энергией 70 Гэв, интенсивностью  $10^{11}$  протонов в секунду на алмазной мишени толщиной 2 мм при угле влета  $\theta$ , равным 10 мрад, число испущенных фотонов под пиком с энергией 280 Кэв составляет  $1,4 \cdot 10^3$  квантов в секунду.

Ереванский физический институт, лаборатория  
поляризованных и монохроматических  
гамма-квантов

Поступила 28.III.1969

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М. А. Тер-Микаелян, ЖЭТФ, т. 25, стр. 296 (1953).
2. H. Uberall, Phys. Rev. 103, p. 1055 (1956).
3. G. Barbiellini, G. Bologna, G. Diambri, G. P. Murtas, Phys. Rev. Letters, 8, 112 (1962).
4. G. Diambri, Nuovo Cimento 25, X, 88 (1962).

ՄԵՄ ԷՆԵՐԳԻԱՆԵՐԻ ՊՐՈՏՈՆՆԵՐԻ ԵՎ  $\mu$ -ՄԵԶՈՆՆԵՐԻ ԱՐԳԵԼԱԿՄԱՆ  
ՀԱՌԱԳԱՅԹՈՒՄԸ ԱԳԱՄԱՆԿԻ ԲՅՈՒՐԵՂԻ ՎՐԱ

Ռ. Ն. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ա. Ա. ԱՐՄԱՂԱՆՅԱՆ

Աշխատանքում ուսումնասիրված է կվադրիմոնոխորմատիկ ֆոտոնների ստացման հնարավորությունը, օգտագործելով մեծ էներգիաների պրոտոնների և  $\mu$ -մեզոնների արգելակման ճառագայթումը աղամանդի բյուրեղի վրա:

#### HIGH-ENERGY PROTON AND MUON BREMSSTRAHLUNG ON A DIAMOND CRYSTAL

R. O. AVAKIAN and A. A. ARMAGHANIAN

The possibility for investigating the interference phenomena in the high-energy proton and muon bremsstrahlung on a diamond crystal is investigated. The interference phenomena for photon bremsstrahlung appear in Kev region at the particle initial energy of about 10 Gev.