

Спектрально-угловое поперечное сечение параметрического рентгеновского излучения типа Б

Д.И.Адейшвили, В.Б.Гавриков, В.Л.Мороховский

ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, г. Харьков

Параметрическое рентгеновское излучение типа Б (ПРИ(Б)) [1] представляет собой когерентную составляющую поляризационного тормозного излучения [2,3], генерируемого релятивистской частицей в кристалле в условиях, когда частота излучения превышает характерные атомные частоты. Явление ПРИ(Б) может быть использовано для создания монохроматических рентгеновских источников с плавно перестраиваемой частотой излучения. При этом представляется целесообразным использовать пучки релятивистских частиц с энергиями в десятки МэВ. В связи с такой перспективой в настоящей работе нами проведено исследование спектрально-углового поперечного сечения ПРИ(Б) с учетом процесса многократного рассеяния релятивистских частиц в мишенях.

Запишем спектрально-угловое поперечное сечение ПРИ(Б) в виде

$$\left\langle \frac{d\sigma}{d\omega d\Omega} \right\rangle = \int d\mathbf{v}_\perp dt a^{-1} f(\mathbf{v}_\perp, t) \frac{d\sigma}{d\omega d\Omega}, \quad (1)$$

где $f(\mathbf{v}_\perp, t)$ - функция распределения частиц пучка по нормальной относительно оси пучка компоненте вектора скорости \mathbf{v} на глубине мишени t ; a - постоянная кристаллической решетки. Просуммированное по направлениям поляризации испущенного фотона поперечное сечение ПРИ(Б) [3], при его генерации на плоскостях с вектором обратной решетки \mathbf{g} , имеет вид:

$$\frac{d\sigma}{d\omega d\Omega} = \sigma_0(\mathbf{g}) \Phi(\mathbf{k}, \mathbf{g}, \mathbf{v}) \delta(\omega - (\mathbf{k} + \mathbf{g})\mathbf{v}), \quad (2)$$

где $\sigma_0(\mathbf{g}) = 8\pi^2 z^2 \alpha_e^2 a^{-3} S^2(\mathbf{g}) F^2(\mathbf{g}) \exp(-g^2 u_T^2)$; z - заряд частицы; $F(\mathbf{g})$ - атомный форм-фактор; $S(\mathbf{g})$ - структурный фактор; u_T - амплитуда тепловых колебаний атомов в решетке; ω , \mathbf{k} - соответственно, частота и волновой вектор фотона ПРИ(Б); $\Phi(\mathbf{k}, \mathbf{g}, \mathbf{v}) = \omega^{-2} (\mathbf{k} \times (\omega \mathbf{g})) / (2\mathbf{k}\mathbf{g} \cdot \mathbf{g}^2)^2$.

При вычислении (1) будем считать, что кристаллические плоскости располагаются нормально к плоскости, которая проходит через ось пучка и ось наблюдения фотонов; угол наблюдения фотонов ПРИ(Б) обозначим через θ , а угол между плоскостями кристалла и осью пучка через φ . Пренебрегая угловой

апертурой детектора и используя в (1) распределение $f(\mathbf{v}_\perp, t) = \exp(-(\mathbf{v}_\perp / \theta_s(t)v)^2) / (\pi(\theta_s(t)v)^2)$, где $\theta_s(t) = \Theta t^{1/2}$, Θ - функция энергии частицы и физических характеристик мишени (см., например, [4]), в малоугловом приближении получим

$$\left\langle \frac{d\sigma}{d\omega d\Omega} \right\rangle = \frac{2\sigma_0 \Phi}{\pi a \theta} \times \left[L^{1/2} \exp(-sL^{-1}) - \sqrt{\pi s} \left(1 - \text{Erf}(\sqrt{sL^{-1}}) \right) \right] \quad (3)$$

В (3) $\theta_0 = (\omega - \omega_0) / (\omega_0 \text{ctg}\varphi - \omega_0 \sin\theta / (1 - v_0 \cos\theta))$; $s = (\theta_0 / \Theta)^2$; $\omega_0 = gv_0 \sin\varphi / (1 - v_0 \sin\theta)$; $\Phi_1 = \Phi(\mathbf{k}, \mathbf{g}, \mathbf{v}_0) / v_0 (\omega \sin\theta - g \cos\varphi)$; v_0 - компонента \mathbf{v} вдоль оси пучка; L - толщина мишени. Чтобы получить (3), мы при вычислениях с δ -функцией пренебрегли членами порядка $(v_\perp / v)^2$. В таком приближении необходимо учесть, что при заданных θ и φ максимальная частота ПРИ(Б) соответствует $(v_\perp / v) = \varphi_0 = \theta - 2\varphi$ и вычисления по формуле (3) должны быть ограничены сверху частотой $\omega_b = gv \sin(\varphi + \varphi_0) / (1 - v \cos(\theta + \varphi_0))$.

Как следует из (3), спектрально-угловое поперечное сечение ПРИ(Б) имеет максимум при $\omega = \omega_0$, плавно изменяется слева и резко обрывается справа от этого значения. Заменяя в (1) $\theta_s(t)$ на усредненное значение θ_M , мы получим следующую зависимость величины дисперсии линии ПРИ(Б) от ориентации кристалла

$$\Delta \omega = 2gv \theta_M \left| \cos\varphi - v \cos(\theta - \varphi) \right| \sqrt{\left(1 - v \cos\theta \right)^2 - \left(v \theta_M \sin\theta \right)^2}. \quad (4)$$

Ориентационная зависимость (4) имеет минимум при угле $\varphi \approx \theta/2$.

Литература

1. Freudenberger J., Gavrikov V.B., Galemann M. et al., Phys.Rev.Lett., 1995, v.74, N13, pp.2487-2490.
2. Амусья М.Я., Буймистров В.М., Зон Б.А. и др. Поляризационное тормозное излучение частиц и атомов. М.: Наука, 1987, 335с.
3. Adejshvily D.I., Gavrikov V.B., Morokhovskii V.L., Preprint KFTI 96-3, 1996, 9p.
4. William T. Scott., Rev.Mod.Phys. 1963, v.35, N2, pp.231-312.

Статья поступила: в редакцию 15 мая 1998 г.,
в издательство 1 июня 1998 г.