

ВЛИЯНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ФОТОНОВ НА СПЕКТРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ КАНАЛИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ

В настоящее время проводится ряд экспериментов по изучению свойств излучения от каналированных частиц относительно невысокой энергии $E \sim 1-50$ МэВ (см., например, [1, 2]). Квантовомеханическая теория этого излучения приведена в работах [3-5]. В [6] показано, что каналированная частица может рассматриваться как своеобразный аналог релятивистского атома и, следовательно, все особенности, присущие излучению релятивистского осциллятора в среде [7], должны проявляться и в спектре излучения фотонов, генерируемых каналированными частицами. Так, частотная дисперсия среды и поглощение фотонов в кристалле вызывают существенное видоизменение спектра излучения. В настоящем сообщении проведен численный анализ влияния указанных факторов на спектральные и угловые распределения излучения фотонов, генерированных при плоскостном каналировании позитронов.

В дипольном приближении для частиц, каналированных в кристалле толщиной L , спектральное распределение можно записать следующим образом [5]:

$$\frac{dN_{if}}{d\omega} = L_n(\omega) (1 - e^{-\frac{L}{L_n(\omega)}}) \frac{\tilde{dN}_{if}}{d\omega}, \quad (1)$$

где $L_n(\omega)$ — длина поглощения фотона частоты ω ; $\frac{\tilde{dN}_{if}}{d\omega}$ — спектральное распределение излучения на единицу длины в непоглощающем кристалле, имеющее следующий вид:

$$\frac{\tilde{dN}_{if}}{d\omega} = A \left[1 - 2 \frac{\omega}{\omega_{if}^m} \left(1 + \frac{\omega_{кр}^2}{\omega^2} \right) + 2 \left(\frac{\omega}{\omega_{if}^m} \right)^2 \right] H(\omega - \omega_{if}^{min}) H(\omega_{if}^m - \omega),$$

$$A = \frac{\alpha |x_{if}|^2 \Omega_{if}^2}{c^3}, \quad (2)$$

в котором $\alpha = e^2/\hbar c$, $\omega_{if}^m = 2\gamma^2 \Omega_{if}$ и $\omega_{if}^{min} = \frac{\omega_{кр}^2}{\omega_{if}^m}$ — максимальная и минимальная частоты излучения соответственно; $\omega_{кр} = \omega_L \gamma$, $\gamma = E/mc^2$ — лоренц-фактор; ω_L — ленгмюровская частота; x_{if} — матричный элемент координат; Ω_{if} — частота перехода между состояниями i и f в лабораторной системе координат

$$H(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

В случае плоскостного каналирования позитронов в центральной области канала межплоскостной потенциал хорошо аппроксимируется параболой. В результате $\Omega_{if} \approx \Omega = (k/m\gamma)^{1/2}$, где $k = 4\pi e^2 z n / 2,72$; z — заряд ядра; n — число атомов в единице объема.

На рис. 1, 2 приведены спектральные распределения фотонов, рассчитанные с помощью (1) — (3). Энергии позитрона $E = 50$ МэВ, 1 ГэВ. В расчетах использовались длины поглощения $L_n(\omega)$, вычисленные с помощью [8]. Графики на рис. 1 даны в дважды логарифмическом масштабе, причем изображена только мягкая ветвь спектрального распределения фотонов, для которой особенно существенно поглощение. Графики на рис. 2 приведены в полулогарифмическом масштабе.

Согласно рис. 1, 2, поглощение фотонов в мишени наиболее сильно изменяет спектральное распределение излучения каналированных частиц с относительно невысокой энергией ($E = 50$ МэВ). С увеличением

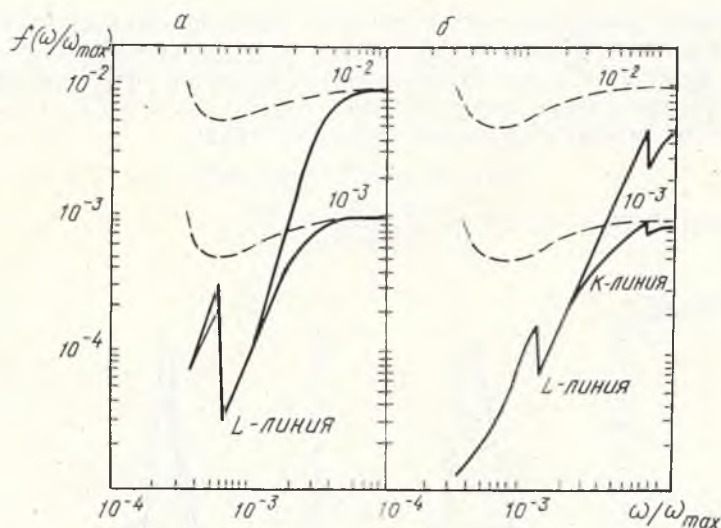


Рис. 1. Спектральное распределение фотонов $\left(f\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right) = \frac{dN\omega}{d\omega} / A,\right.$ отн. ед.), излучаемых позитроном энергии 1 ГэВ в кристаллах кремния (а), вольфрама (б). Цифры на графиках—толщина кристалла, см. Пунктирная кривая — $f\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)$ при $L_n(\omega) = \infty$

толщины кристалла и плотности вещества возрастает и интервал частот, в котором происходит заметное уменьшение интенсивности излучения вследствие поглощения фотонов. Так, для позитронов с энергией 50 МэВ спектр фотонов значительно изменяется во всем интервале излучаемых частот уже при толщине кристалла $L = 10^{-2}$ см в вольфраме. В области мягких частот, в которой длина поглощения $L_n(\omega) \ll L$, интенсивность излучения не зависит от толщины кристалла и пропорциональна $L_n(\omega)$ (см. (1)). Необходимо также отметить, что поглощение подавляет проявление частотной дисперсии среды в спектральном распределении фотонов. Например, для позитронов с энергией 1 ГэВ влияние дисперсии среды на спектр излучения полностью «замазывается» поглощением (см. рис. 1, 2).

Резкие провалы в спектральных распределениях, изображенных на рис. 1, 2, обусловлены совпадением частоты излучаемых фотонов с частотами атомных переходов (К- и L-линии поглощения).

Поглощение фотонов в среде не только изменяет

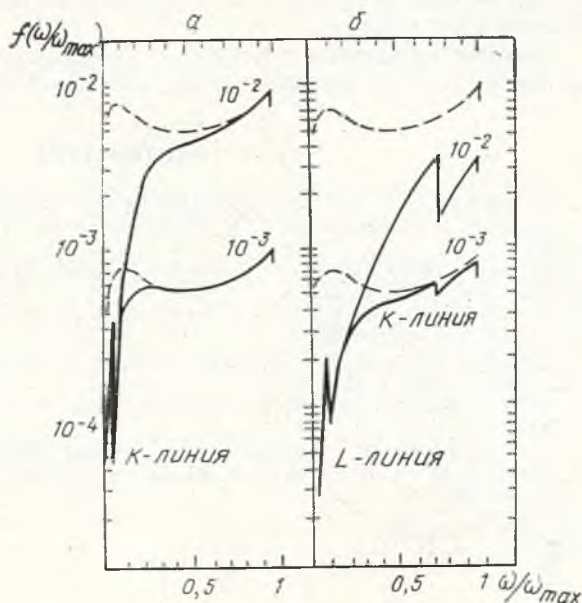


Рис. 2. То же, что на рис. 1, при энергии позитронов 50 МэВ

спектральное распределение излучения каналированных частиц, но и влияет на угловое распределение вследствие зависимости частоты испускаемого фотона от угла излучения, обусловленной эффектом Доплера. Угловое распределение фотонов, для которых $L_n(\omega) \ll L$, в дипольном приближении можно записать в следующем виде:

$$dN_\theta = AL_n(\omega) F(\theta) \sin \theta d\theta, \quad (4)$$

где функция $F(\theta) = \frac{(1 - \beta \cos \theta)^2 + (\beta - \cos \theta)^2}{(1 - \beta \cos \theta)^4}$.

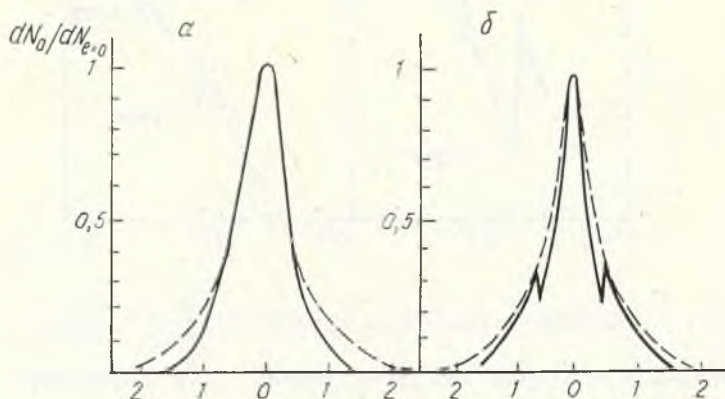


Рис. 3. Угловые распределения фотонов (отн. ед.), излучаемых при каналировании позитронов энергией 50 МэВ, в кристаллах германия (а), фольфрама (б), $L=0,01$ см

Угловые распределения dN_θ , рассчитанные с помощью (4), изображены на рис. 3. Как видно из графиков, поглощение фотонов приводит к резкому «крыльев» углового распределения, так как согласно (4) излучение сосредоточено в области малых углов $\theta \leq 1/\gamma$, при которых излучаются жесткие γ -кванты.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что поглощение фотонов в кристалле приводит к существенному изменению спектрального распределения излучения, а также влияет на угловое распределение фотонов мягких частот.

Авторы выражают глубокую благодарность профессору В. Г. Барышевскому за постановку задачи, полезные обсуждения и замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andersen J. U. and Laegsgaard E.—Phys. Rev. Lett., 1980, v. 44, p. 1079.
2. Cue N., Bonderup E., Marsh B. B. et al.—Phys. Lett., 1980, v. 80A, p. 26.
3. Baryshevsky V. G., Grubich A. O., Dubovskaya I. Ya.—Phys. stat. sol. (b), 1977, v. 82, p. 403.
4. Baryshevsky V. G., Grubich A. O., Dubovskaya I. Ya.—Phys. stat. sol. (b), 1978, v. 88, p. 351.
5. Baryshevsky V. G., Grubich A. O., Dubovskaya I. Ya.—Phys. stat. Lett., 1980, v. 77A, p. 61.
6. Барышевский В. Г., Дубовская И. Я.—Докл. АН СССР, 1976, т. 31, с. 1335.
7. Франк И. М.—Изв. АН СССР. Сер. физ., 1942, т. 6, с. 3.
8. Немец О. Р., Гофман Ю. В. Справочник по ядерной физике.— Киев, 1975, с. 227, 236, 261.