

УДК 537.86

РАСЧЕТ СПЕКТРА ФОТОНОВ, ИЗЛУЧЕННЫХ ПРИ ПЛОСКОСТНОМ КАНАЛИРОВАНИИ ПОЗИТРОННОГО СГУСТКА, С УЧЕТОМ ПОЛЯРИЗАЦИИ СРЕДЫ

Л.А. ОВСЕПЯН

Ереванский физический институт

(Поступила в редакцию 7 февраля 2007 г.)

Проведен численный расчет спектра излучения позитронного сгустка с энергией $E = mc^2\gamma = 4$ ГэВ в канале (110) монокристалла алмаза с учетом неоднородной поляризации среды. Найдены особенности спектра в крайне мягкой области частот. Характеристики расчетного спектра согласуются с экспериментальными данными, полученными в жесткой области частот.

Рассматривается задача об излучении позитронного сгустка, параллельно падающего в плоскостной канал с непрерывным параболическим потенциалом с глубиной $U_0 = \gamma mc^2$. Тогда начальные поперечные координаты позитронов являются амплитудами их синусоидальных колебаний. Среда в канале предполагается неоднородной со следующим распределением поляризации:

$$\eta(s) = k(1-s)(s-b)^3 h(1-s)h(s-b) + \eta_0. \quad (1)$$

Заметим, что поляризация связана с плотностью электронов $\rho(s)$ выражением $\eta(s) = \pi r_0 \rho(s) d^2 / 2\gamma$ и убывает с увеличением энергии позитронов. Здесь s – начальная поперечная координата позитрона в единицах полуширины канала $d/2$ (s отсчитывается от середины канала), $h(s)$ – функция Хевисайда. Вне области $(b, 1)$ поляризация имеет только фоновое значение $\eta_0 \ll \eta_A$ (η_A – среднее значение поляризации в области атома), r_0 – классический радиус электрона, $k = 20\eta_A / a^4$, $a = 1 - b = 2r_A/d$, где r_A – радиус атома. Свое максимальное значение поляризация принимает при $s_m = 1 - a/4$: $\eta_m = \eta(s_m) = \eta_0 + 27k/64$. Отметим, что в реальных случаях $\eta_m \ll 1$.

Используем спектральное распределение фотонов, излученных основной гармоникой на длине плоскостного канала L позитроном, движущимся по бесконечной синусоидальной траектории с амплитудой s [1]:

$$dN_{ph}^{bunch} / dx = \Gamma f(x, s), \quad \Gamma = \alpha v L \sqrt{2\gamma} / d, \quad f(x, s) = s^2 \left[1 + \left(2x - 1 + 2\gamma x s^2 + \eta(s) / 2x \right)^2 \right], \quad (2)$$

где $x = \omega / \omega_b$ – энергия фотона $\hbar\omega$ в единицах максимального значения энергии жестких фотонов $\hbar\omega_b$, излученных под нулевым углом. Интервал излучаемых частот также зависит от амплитуды колебаний s .

$$\eta(s)/4 \leq x(s) \leq 1/(1+v\gamma s^2). \quad (3)$$

При этом нижний предел частоты определяется поляризацией среды, а верхний – параметрами канала и энергией позитрона. В области частот $\eta_m/4 = x_m^{soft} \leq x \leq x_m^{hard} = 1/(1+v\gamma)$ вносят вклад все каналированные позитроны сгустка. Отметим, что x_m^{soft} – минимальная частота излучения позитрона с амплитудой колебаний s_m , а x_m^{hard} – максимальная частота при амплитуде $s=1$. Вне этого частотного интервала число позитронов сгустка, вносящих вклад в излучение, уменьшается. Поэтому максимумы спектра приходятся на эти частоты.

Поперечные координаты позитронов сгустка в канале распределены равномерно. Для нахождения спектра излучения необходимо усреднить (2) по s . В данной работе это усреднение проведено численным моделированием. Для позитрона с амплитудой s определяется $\eta(s)$ и для частот, удовлетворяющих условию (3), рассчитывается число излученных фотонов. Суммируя полученные спектры по всем возможным s и разделив на число рассмотренных траекторий, получаем среднее спектральное распределение на один каналированный позитрон сгустка.

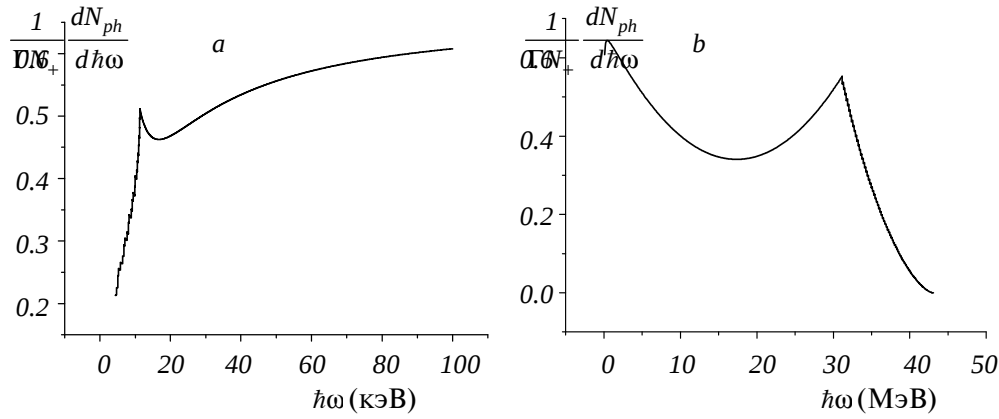


Рис.1. Спектр числа фотонов излучения, приходящихся на единичный позитрон сгустка с энергией 4 ГэВ и N_+ частицами в канале (110) монокристалла алмаза в мягкой (а) и жесткой (б) областях спектра.

Для канала (110) монокристалла алмаза межплоскостное расстояние $d=1.26 \times 10^{-8}$ см, глубина потенциальной ямы $U_0 \approx 25$ эВ ($v=4.87 \times 10^{-5}$) [2], средняя плотность электронов в кристалле алмаза $\rho_c (10^{24} \text{ см}^{-3})$. В области полуканала с шириной a имеем $\rho_A \approx \rho_c/a = 2.5 \times 10^{24} \text{ см}^{-3}$, так как $a=0.4$ (радиус атома алмаза $r_A=2.5 \times 10^{-8}$ см), $\eta_m=9.75 \times 10^{-4}$, а для фоновой поляризации среды выберем $\eta_0=8 \times 10^{-5} \approx \eta_m$. Тогда $x_m^{soft}=2.6 \times 10^{-4}$, а $x_m^{hard}=0.72$ при энергии $E=4$ ГэВ ($\gamma=7828$). Для максимальной энергии фотонов $\hbar\omega_b=2\hbar\Omega_{Ch}\gamma^2$, где $\Omega_{Ch}=2c\sqrt{2v}/(d\sqrt{\gamma})$ – частота колебания позитронов в канале, получаем $\hbar\omega_b \approx 43$ МэВ ($x=1$). Следовательно, в максимуме спектра в жесткой области для энергии фотонов имеем $43(\text{кэВ})/(1+v\gamma) = 31$ МэВ, что удовлетворительно согласуется со значением 27 МэВ, полученным в эксперименте [3]. Для энергии фотонов, соответствующей максимуму спектра в мягкой области,

получаем $43(\text{МэВ}) \chi_m^{\text{soft}} = 11$ кэВ. Результаты расчета приведены на рис.1.

Таким образом, в работе проведен численный расчет спектра излучения позитронного сгустка в плоскостном канале, где плотность электронов имеет неоднородное распределение. Неоднородность среды приводит к изменению спектрального распределения числа излученных фотонов. Спектр имеет три максимума: в крайне мягкой, мягкой и жесткой областях частот. Сравнение полученных характеристик спектра в жесткой области с экспериментальными данными дает удовлетворительное согласие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.А.Геворгян, Л.А.Овсепян. Изв. НАН Армении, Физика, **42**, 131 (2007)
2. В.А.Базылев, Н.К.Жеваго. Излучение быстрых частиц в среде и во внешних полях. М., Наука, 1987.
3. Р.Авакян, И.Мирошниченко, Д.Мюррэй, Т.Фигут. ЖЭТФ, **82**, 1825 (1982).

ՀԱՐԹՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՎ ՈՒՂՂՈՐԴՎԱԾ ՊՈԶԻՏՐՈՆԱՅԻՆ ԹԱՆՁՐՈՒՅԹԻ ՃԱՌԱԳԱՅԹԱԾ ՖՈՏՈՆՆԵՐԻ ՍՊԵԿՏՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԲԵՎԵՌԱՑՄԱՆ ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ

Լ.Ա. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

Աշխատանքում կատարված է արմատի միաբյուրեղի (110) հարթություններով ուղղորդված $E=mc^2\gamma=4$ ԳէՎ էներգիայով պոզիտրոնային փնջի ճառագայթած ֆոտոնների սպեկտրի հաշվարկը միջավայրի բևեռացման հաշվառմամբ: Բացահայտված են սպեկտրի առանձնահատկությունները հաճախությունների փափուկ տիրույթի եզրում: Ստացված արդյունքները համեմատվում են կոշտ տիրույթում դիտարկված փորձարարական տվյալների հետ:

CALCULATION OF THE PHOTON SPECTRUM RADIATED BY A PLANARLY CHANNELED POSITRON BUNCH WITH ALLOWANCE FOR THE MEDIUM POLARIZATION

L.A. HOVSEPYAN

The spectrum of photons radiated by 4 GeV energy positrons bunch channeled in diamond monocrystal planes (110) is calculated, considering the medium polarization. The spectrum characteristics in the boundary soft region are obtained. The results are compared with experimental data, which was observed in the hard frequency region.