

ВЕРТИКАЛЬНО-УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ  
В КОМПОНЕНТАХ ПОЛЯРИЗАЦИИ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ,  
ГЕНЕРИРУЕМОГО В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОЙ ВАРИАЦИИ  
НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

З. Л. Артемьева, Е. М. Мороз, К. Н. Шорин, А. С. Яров

УДК 621.384.63

Вычислены универсальные кривые вертикально-углового распределения интенсивности в компонентах поляризации синхротронного излучения. Расчетом и в эксперименте показана возможность увеличения направленности излучения в каждой из компонент путем создания локальной вариации магнитного поля в точках генерации пучков СИ.

Вертикально-угловое распределение интенсивности синхротронного излучения (СИ) в каждой из его двух компонент поляризации может быть описано соотношениями

$$I_{\sigma} = \left\{ \left[ 1 + (\gamma\psi)^2 \right] K_{2/3}(\xi) / K_{2/3}(\xi_0) \right\}^2 \quad (1)$$

— для синхротронного излучения с электрическим вектором, лежащим в плоскости орбиты ( $\sigma$ -компонента излучения) и

$$I_{\pi} = \left[ 1 + (\gamma\psi)^2 \right] \left\{ \gamma\psi K_{1/3}(\xi) / K_{2/3}(\xi_0) \right\}^2 \quad (2)$$

— для синхротронного излучения с электрическим вектором, нормальным плоскости орбиты ( $\pi$ -компонента излучения).

Эти соотношения получены из известной формулы /1/ для мощности  $I(\lambda, \psi)$ , излучаемой (в расчете на единицу длины волны  $\lambda$  и единицу вертикального угла  $\psi$ , отсчитываемого от плоскости орбиты) моноэнергетическими электронами, движущимися по круговой орбите. Здесь  $\gamma$  — отношение полной энергии  $E$  ускоренных электронов к их энергии покоя (релятивистский фактор ускоренных электронов),

$$\lambda_c = 6,42 \cdot 10^{10} / \gamma^2 H_T, \text{ нм} \quad (3)$$

— характеристическая длина волны СИ, выраженная через напряженность  $H_T$  (в эрстедах) магнитного поля в точках генерации излучения,  $K$  — функции Макдональда дробных порядков с аргументом,

$$\xi = \xi_0 [1 + (\gamma\psi)^2]^{3/2}, \quad (4)$$

где

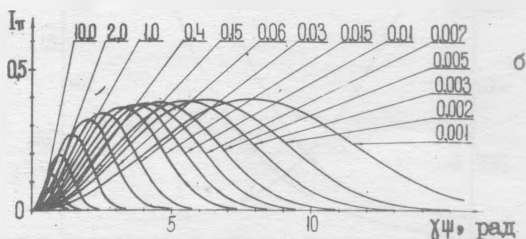
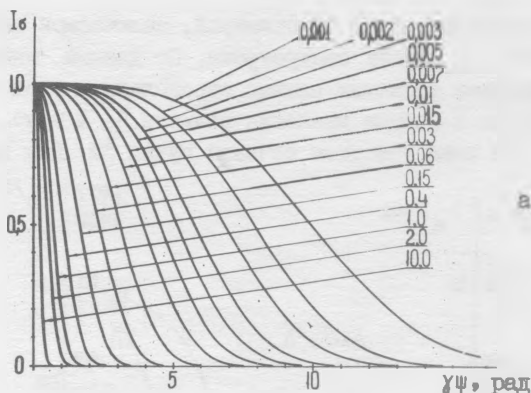
$$\xi_0 = \lambda_c / 2\lambda. \quad (5)$$

Формулы (1), (2), (3), (4), (5) распространяются и на плоские орбиты произвольной формы в той мере, в какой величину  $H_T$  можно считать постоянной в исследуемой области генерации пучков СИ.

На рис. 1 даны универсальные (для любого ускорителя с фактором  $\gamma$  электронов) расчетные кривые вертикально-углового распределения интенсивностей  $I_y$ ,  $I_x$  в соответствующих компонентах поляризации СИ, для разных значений параметра  $\lambda_c/\lambda$  исследуемого излучения. Все кривые приведены к единице по  $\sigma$ -компоненте при  $\psi = 0$ .

Из рис. 1 легко видеть, что для электронов с одним и тем же фактором  $\gamma$  увеличение отношения  $\lambda_c/\lambda$  сопровождается увеличением направленности по углу  $\psi$  обеих компонент излучения на волне  $\lambda$ . В то же время величину  $\lambda_c/\lambda$  можно согласно (3) увеличить, уменьшив в точках генерации СИ величину  $H_T$  напряженности магнитного поля. Отсюда вытекает возможность интенсификации пучков СИ, генерируемых в определенной области спектра, путем их формирования в относительно слабых полях (рассеянных или внесенных) промежутков между секторами магнитов синхротронов. В этом случае соотношения (1), (2), (3) позволяют контролировать описываемый эффект по каждой из компонент поляризации.

Эффект увеличения направленности компонент поляризации СИ был проверен в ниже описываемом опыте на синхротроне с энергией ускоренных электронов  $E \sim 0,6$  ГэВ в оптической области спектра СИ при  $\lambda = 589$  нм. Изменение величины отношения  $\lambda_c/\lambda$  в этом опыте осуществлялось путем перемещения точек формирования пучка СИ по промежутку между магнитными секторами, где величина поля  $H_T$  изменяется от  $\sim 600$  эрстед (в центре промежутков) до  $\sim 10000$  эрстед (на примыкающих краях магнитных секторов). На



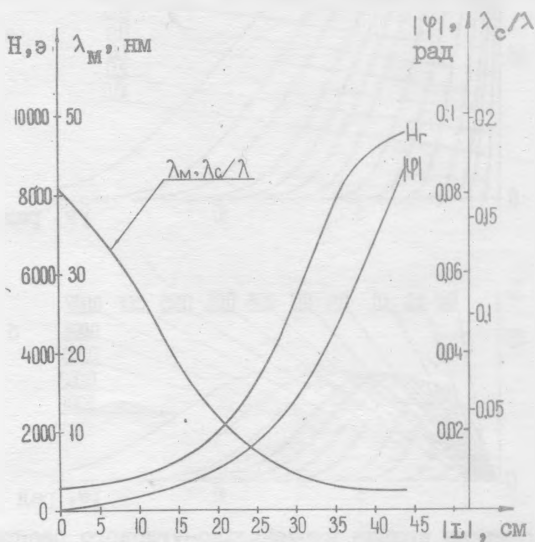
Р и с. 1. Расчетные кривые вертикально-углового распределения в  $\sigma$ -компоненте (а) и  $\pi$ -компоненте (б) интенсивности синхротронного излучения. Цифры на графиках — значения параметра  $\lambda_c/\lambda$

рис. 2 приведены полученные в эксперименте зависимости от расстояния  $|L|$  (от середины промежутков синхротрона до выбранных точек генерации СИ) поля  $H_T$ , длины волны  $\lambda_M = 0,42\lambda_c$  в максимуме спектра СИ, параметра  $\lambda_c/\lambda$  при  $\lambda = 589$  мкм и горизонтального угла направления излучения  $|\varphi|$  (отсчитываемого от касательной к орбите в центре промежутка).

Предварительный выбор для исследований участка генерации, включающего необходимые величины поля  $H_T$ , осуществлялся внесением в орбиту электронов регулируемого по амплитуде импульсного искажения, имеющего максимум в центре промежутка.

Разделенное на компоненты призмой Волластона изображение сечения исследуемого пучка СИ регистрировалось затем в фокаль-

ной плоскости объектива фотокамерой, включаемой на плоской вершине магнитного цикла синхротрона. По данным микрофотометрического анализа отснятых пленок определялись угол  $\psi$  направления излучения и точные значения величин  $H_T$  и  $\lambda_c/\lambda$ , соответствующие тем или иным участкам сечения пучка СИ. Для выбранных  $H_T$



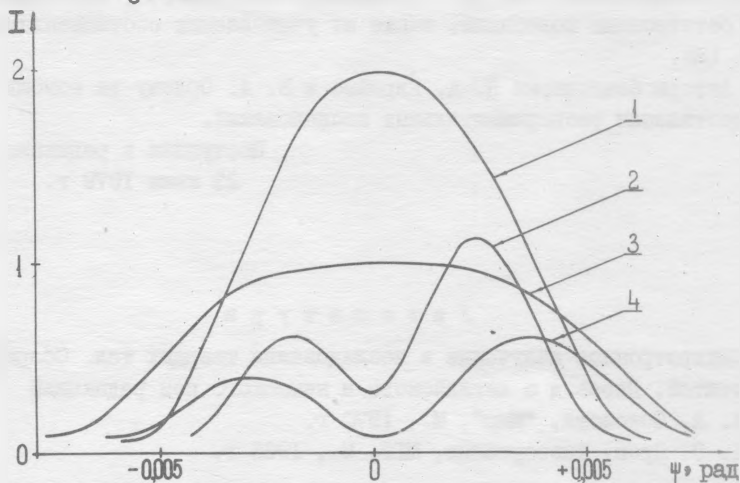
Р и с. 2. Магнитное поле и важнейшие характеристики пучка синхротронного излучения, генерируемого в промежутках синхротрона на 0,6 ГэВ

и  $\lambda_c/\lambda$  проводился анализ вертикально-углового распределения интенсивности СИ в каждой из компонент поляризации.

На рис. 3 приведены микрофотограммы вертикально-углового распределения интенсивности  $I$  синхротронного излучения (в относительных единицах) в сечении пучка, выведенного из симметричной окрестности центра одного из промежутков синхротрона, при точном значении энергии  $E = 577$  МэВ на плоской вершине (длительностью  $\sim 0,3$  с) магнитного цикла ускорителя и длине волны исследуемого излучения  $\lambda = 589$  нм.

Здесь кривая  $I$  описывает угловое распределение интенсивности  $\sigma$ -компоненты излучения в центре промежутка, где

величина поля  $H_T$  составляет 580 эрстед, а параметр  $\lambda_c/\lambda \approx 0,16$ . Кривая 2 описывает угловое распределение интенсивности СИ в  $\pi$ -компоненте излучения, генерированного также в центре промежутка. Кривые 3, 4 описывают угловое распределение СИ соответственно в  $\sigma$ - и  $\pi$ -компонентах для части пучка, выведенной с края используемой области промежутка, где величина  $H_T$  составляет 3800 эрстед, а параметр  $\lambda_c/\lambda \approx 0,026$ .



Р и с. 3. Микрофотограммы вертикально-углового распределения интенсивности в  $\sigma$ -компоненте (1,3) и  $\pi$ -компоненте (2,4) излучения пучка СИ, генерируемого в синхротроне на 0,6 ГэВ. Кривые 1,2 соответствуют генерации пучка в минимуме поля  $H_T$

Из рис. 3 легко видеть предсказанное расчетом по соотношениям (1), (2), (3) и иллюстрируемое графиками рис. 1 вертикальное (по углу  $\psi$ ) сжатие каждой из компонент поляризации выведенного из синхротрона пучка СИ, вызванное смещением точек генерации из большего поля (3800 э) в меньшее (580 э).

Кривые 1, 2, 3, 4 рис. 3 получены в полностью идентичных условиях, что позволяет также видеть и оценить количественно эффект увеличения интенсивности каждой из компонент излучения (как в плоскости орбиты при  $\psi = 0$ , так и по всему сечению), сопровождающий сжатие пучка, вызванное уменьшением величины по-

ля генерации  $H_T$ .

В отличие от расчетных кривых рис. 1б, микрофотограммы рис. 3, относящиеся к  $\pi$ -компоненте излучения (кривые 2,4), существенно не симметричны относительно оси  $\psi = 0$  и не обращаются в минимуме в нуль, что является возможным следствием не учитываемого расчетом влияния горизонтальной составляющей магнитного поля ускорителя и, как уже указывалось /2/, наличия вертикальных бетатронных колебаний, также не учитываемых соотношениями (1), (2).

Авторы благодарны П. А. Кирейко и В. А. Орлову за помощь в осуществлении экспериментальных исследований.

Поступила в редакцию  
23 июля 1979 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Синхротронное излучение в исследовании твердых тел. Сборник статей. Перевод с английского и немецкого под редакцией А. А. Соколова, "Мир", М., 1970 г.
2. А. С. Яров, Диссертация, МГУ, М., 1966 г.