

НЕКОТОРЫЕ НЕКОГЕРЕНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ПУЧКОВ СИ В ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ СИНХРОТРОНА

З. Л. Артемьева, Е. М. Мороз, К. Н. Шорин

УДК 621.384.63

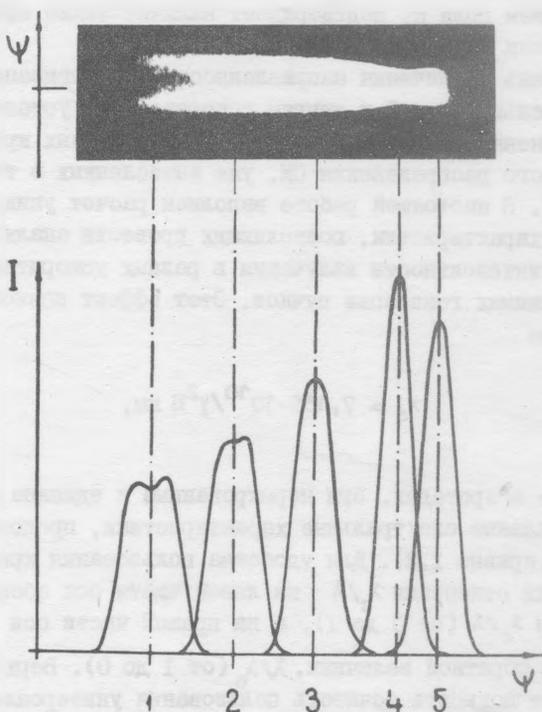
Теоретически объяснено увеличение интенсивности синхротронного излучения в длинноволновой области спектра при уменьшении магнитного поля на участке генерации. Расчеты подтверждены экспериментом на синхротроне с энергией $\sim 0,6$ ГэВ.

В синхротроне-рейстрекре ФИАН с энергией $\sim 0,6$ ГэВ в процессе теоретических исследований влияния азимутальной несимметрии управляющего магнитного поля на характеристики синхротронного излучения (СИ) было обнаружено казавшееся вначале парадоксальным явление значительного возрастания интенсивности выводимых пучков СИ оптического диапазона, возникавшее при смещении области их формирования в относительно слабое и медленно меняющееся рассеянное поле середины промежутков между соседними секторами магните ускорителя.

Детальный расчет и специальный эксперимент [1], [2] показали, что в синхротронах могут иметь место по меньшей мере три эффекта при генерации СИ в слабом и медленно меняющемся магнитном поле в промежутках, позволяющие в ряде случаев заметно улучшить характеристики выводимых пучков. Один из эффектов - увеличение направленности вертикально - углового распределения излучения на фиксированной длине волны λ . Направленность тем больше, чем меньше величина поля H в области генерации пучков и чем больше величина релятивистского фактора γ ускоренных электронов. Другой эффект - увеличение степени линейной поляризации СИ. Поляризация тем больше, чем больше величина отношения характеристической длины волны λ_c , соответствующей величине напряженности

Н магнитного поля в точках генерации, к исследуемой фиксированной длине волны λ излучения. Третий эффект - увеличение интенсивности генерируемых пучков, имеющее место в определенной для каждого ускорителя области длин волн λ и величин поля Н в точках генерации.

В экспериментах по генерации пучков СИ оптического диапазона в промежутках магнитной системы синхротрона на $\sim 0,6$ ГэВ в диапазоне изменения поля Н 80 + 600 Э наблюдались все упомянутые эффекты /1/, /2/.



Р и с. 1. Фотография сечения пучка СИ оптического диапазона, выведенного из промежутка синхротрона на 0,6 ГэВ и вертикально - угловые распределения интенсивности. На участке сечения, отмеченном осью 4, поле Н имеет минимум, близкий к 100 Э. На остальных участках $H_1 > H_2 > H_3 > H_4 < H_5$

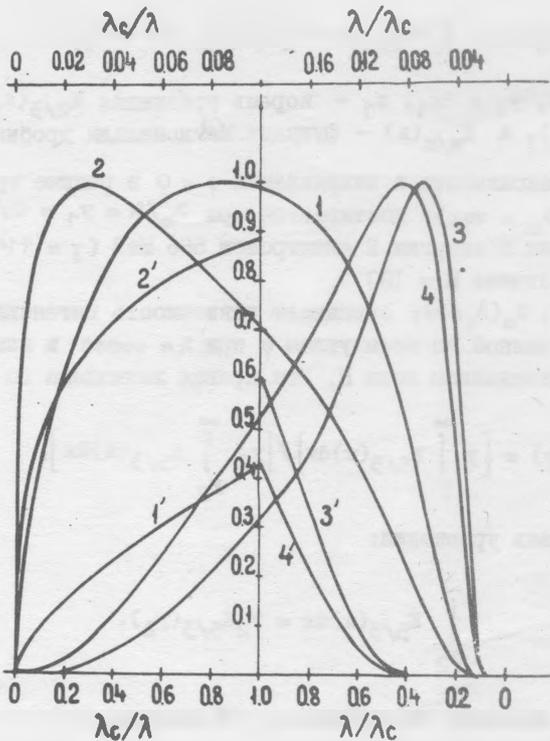
Рис. 1 иллюстрирует один из упомянутых опытов. Здесь приведены фотографии поперечного сечения оптического пучка СИ, выведенного из окрестности промежутка, и вертикально-угловые распределения интенсивности излучения. Напряженность поля генерации на участке сечения, отмеченном вертикальной осью 4, минимальна и связана с напряженностями поля H на других участках соотношением $H_1 > H_2 > H_3 > H_4 < H_5$. Вертикальное (по ψ) сжатие и увеличение интенсивности пучка, выводимого из середины промежутка, очевидно на рисунке, а изменение характера распределения, вызванное уменьшением поля H , подтверждает наличие также эффекта увеличения степени линейной поляризации СИ.

Степень увеличения направленности и поляризации излучения применительно к этой и другим ускорительным установкам может быть оценена с помощью семейства универсальных кривых вертикально-углового распределения СИ, уже вычисленных в тех же работах /1/, /2/. В настоящей работе выполнен расчет универсальных спектральных характеристик, позволяющих провести анализ эффекта увеличения интенсивности излучения в разных ускорительных установках и режимах генерации пучков. Этот эффект зависит от отношения λ_c/λ , где

$$\lambda_c = 7,135 \cdot 10^{10} / \gamma^2 \text{ нм}, \quad (1)$$

если H - в эрстедах. Эти нормированные к единице в максимумах, универсальные спектральные характеристики, представлены на рис. 2 (кривые 1,2). Для удобства пользования кривыми при любых значениях отношения λ_c/λ на левой части оси абсцисс отложены величины λ_c/λ (от 0 до 1), а на правой части оси откладываются значения обратной величины, λ/λ_c (от 1 до 0). Верхняя ось абсцисс позволяет повысить точность пользования универсальными кривыми 1,2 в диапазонах изменения λ_c/λ $0 \div 0,1$ и λ/λ_c $0,2 \div 0$ (см. подпись к рис. 2). На вертикальной оси - интенсивность СИ в долях от максимальной.

Кривая 1 описывает зависимость интенсивности СИ в направлении вертикального угла $\psi = 0$, отсчитываемого от плоскости орбиты электронов, когда величина λ фиксирована, а величина λ_c изме-



Р и с. 2. Универсальные кривые интенсивности СИ: 1) Зависимость интенсивности СИ в направлении скорости электрона ($\psi = 0$) от величины λ_c/λ при $\lambda = \text{const}$ и вариации λ_c . 2) Зависимость интенсивности СИ, проинтегрированной по всем углам ψ , от λ_c/λ при $\lambda = \text{const}$ и вариации λ_c . 3) Зависимость интенсивности СИ в направлении $\psi = 0$ от λ_c/λ при $\lambda_c = \text{const}$ и вариации λ . 4) Зависимость проинтегрированной по углам ψ интенсивности СИ от величины λ_c/λ при $\lambda_c = \text{const}$ и вариации λ . Кривые 1', 2', 3' и 4' относятся к верхней оси абсцисс

няется вместе с полем H по соотношению (I). Кривая I вычислена по формуле

$$g_0(y) = \left\{ \left[y K_{2/3}(y/2) \right] / \left[y_1 K_{2/3}(y_1/2) \right] \right\}^2, \quad (2)$$

где $y = \lambda_c / \lambda$, $y_1 = 2z_1$, z_1 - корень уравнения $K_{2/3}(z_1) = 3z_1 K_{1/3}(z_1)$, а $K_{m/n}(x)$ - функции Макдональда дробных порядков.

Максимум интенсивности в направлении $\psi = 0$ в режиме кривой I ($\lambda = \text{const}$, $\lambda_c = \text{var}$) достигается при $\lambda_c / \lambda = y_1 = 0,83$, что для $\lambda = 578$ нм и энергии E электронов 586 МэВ ($\gamma = 1147$) соответствует величине $H = 100$ Э.

Кривая 2, $G_0(\lambda_c / \lambda)$, описывает зависимость интенсивности СИ, проинтегрированной по всем углам ψ при $\lambda = \text{const}$ и изменении λ_c , вызываемом изменением поля H . Эта кривая вычислена по формуле:

$$G_0(y) = \left[y \int_y^{\infty} K_{5/3}(x) dx \right] / \left[y_2 \int_{y_2}^{\infty} K_{5/3}(x) dx \right], \quad (3)$$

где y_2 - корень уравнения:

$$\int_{y_2}^{\infty} K_{5/3}(x) dx = y_2 K_{5/3}(y_2).$$

На кривой 2 максимум интенсивности СИ достигается при $\lambda_c / \lambda = y_2 = 0,29$, что для синхротрона на $\sim 0,6$ ГэВ соответствует величине $H = 300$ Э.

Для сравнения с универсальными кривыми g_0 и G_0 , описывающими генерацию СИ при $\lambda = \text{const}$ и изменении λ_c , вызываемом изменением поля H в точках генерации, на рис. 2 приведены также универсальные кривые $g(y)$ (3) и $G(y)$ (4) спектрального распределения интенсивности СИ при $\lambda_c = \text{const}$. Кривая 3 вычислена по формуле:

$$g(y) = \left\{ \left[y^2 K_{2/3}(y/2) \right] / \left[y_3^2 K_{2/3}(y_3/2) \right] \right\}^2, \quad (4)$$

где $y_3 = 2z_3$, а z_3 является корнем уравнения:

$$4K_{2/3}(z_3) = 3z_3 K_{1/3}(z_3).$$

Эта кривая предназначена для оценок зависимости интенсивности СИ

от длины волны λ в направлении $\psi = 0$ при фиксированном значении λ_c — характеристической длины волны СИ. Максимум интенсивности излучения СИ в направлении $\psi = 0$ приходится в этом режиме на длину волны λ , удовлетворяющую условию $\lambda_c/\lambda = y_3 = 3$.

Универсальная спектральная кривая 4, хорошо известная в теории СИ [3], приведена здесь, как и все остальные кривые, в нормированном виде. Она вычислена по формуле:

$$G(y) = \left[y^3 \int_y^{\infty} K_{5/3}(x) dx \right] / \left[y_4^3 \int_{y_4}^{\infty} K_{5/3}(x) dx \right], \quad (5)$$

где y_4 является корнем уравнения

$$y_4 K_{5/3}(y_4) = 3 \int_{y_4}^{\infty} K_{5/3}(x) dx.$$

Кривая 4 может быть использована для оценок зависимости проинтегрированной по всем углам ψ интенсивности спектра СИ от длины волны λ при фиксированном значении λ_c . Здесь максимум интенсивности спектра СИ приходится на длину волны λ , удовлетворяющую условию:

$$\lambda_c/\lambda = y_4 = 2,38.$$

Все приведенные кривые вычислены в предположении, что можно пренебречь относительным изменением $\Delta H/H$ магнитного поля на участке генерации СИ длиной $\Delta l = R/\gamma$, где R — радиус кривизны траектории в точке генерации.

Авторы благодарны А. С. Ярову и В. С. Орлову за помощь в проведении эксперимента.

Поступила в редакцию
25 марта 1960 г.

Л и т е р а т у р а

1. З. Л. Артемьева, Е. М. Мороз, К. Н. Шорин, А. С. Яров, Краткие сообщения по физике ФИАН № II, 30 (1979).
2. З. Л. Артемьева, Е. М. Мороз, К. Н. Шорин, А. С. Яров, Краткие сообщения по физике ФИАН № II, 43 (1979).
3. Синхротронное излучение в исследовании твёрдых тел, Сборник статей, Перевод с англ. и нем. под ред. А. А. Соколова, "Мир", М., 1970 г.