

КОРРЕКЦИЯ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Г.В. Демьянов, А.В. Титов, К.Н. Шорин, А.С. Яров

Методом вариации магнитного поля подавлялись бетатронные колебания электронов, приводящие к деполаризации синхротронного излучения. Степень поляризации СИ повышена до величины, близкой к 100% во всем исследованном диапазоне углов; скорректированы также параметры Стокса и степени линейной и циркулярной поляризации.

Одним из наиболее важных и характерных свойств синхротронного излучения (СИ) является его поляризация /1/. Первые данные о линейной поляризации /2/ были существенно скорректированы в /3/ и дополнены информацией о циркулярной поляризации /4/. Последовательное исследование поляризации проведено в /5/, где впервые измерена степень поляризации СИ. Экспериментальные результаты в целом согласуются с теорией СИ в приближении круговой орбиты; тем не менее, существуют и систематические отклонения, зафиксированные в /4-6/ и обусловленные деполаризующим влиянием бетатронных колебаний.

В данной работе метод оптимизации диаграммы направленности СИ, апробированный в /6/, использован для коррекции степени поляризации и ее составляющих — параметров Стокса.

Эксперимент проведен в синхротроне ФИАН с энергией 600 МэВ. Выделяемое светофильтром излучение с длиной волны 476 нм и полушириной спектра 6 нм регистрировалось скоростной камерой, что обеспечивало достаточную моноэнергетичность пучка электронов (~ 0,2 МэВ) в каждом экспонируемом кадре. Оптическая система была построена по классической схеме /4,5,7/; она позволяла измерять параметры Стокса путем комбинирования поляризаторов и фазовращающей пластинки. Важным аспектом методики является произвольность установки двух поляризаторов по отношению к магнитному полю синхротрона и в то же время их взаимная перпендикулярность. При этом для фиксированного направления излучения параметры Стокса ξ_1 и ξ_2 не являются постоянными характеристиками СИ и зависят от угла α ориентации поляризаторов по отношению к магнитному полю: тем не менее, степень линейной поляризации

$$P_L = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2} = \text{const} \quad (1)$$

не зависит от этой ориентации. То же можно сказать и о степени циркулярной поляризации P_C , с точностью до знака совпадающей с параметром Стокса ξ_3 :

$$P_C = |\xi_3| = \text{const}. \quad (2)$$

Для подтверждения утверждений (1), (2) измерения проведены в двух вариантах: при ориентации одного из поляризаторов примерно по направлению магнитного поля ($\alpha_0 \approx 0$) и при значении этого угла $\alpha_0 \approx 13^\circ$. В приближении круговой орбиты электрона /1/ общая степень поляризации

$$P = \sqrt{P_L^2 + P_C^2} = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2} \equiv 1. \quad (3)$$

Ситуация существенно меняется в неоднородном поле, где степень поляризации СИ обусловлена значением амплитуд бетатронных колебаний:

$$P = \frac{\sqrt{[\beta^2 \epsilon K_{2/3}^2 + (a_\rho^2 - a_z^2 - \psi^2) K_{1/3}^2]^2 + 4\beta^2 \psi^2 K_{2/3}^2 K_{1/3}^2 \epsilon}}{\beta^2 \epsilon K_{2/3}^2 + (a_\rho^2 + a_z^2 + \psi^2) K_{1/3}^2} \quad (4)$$

Здесь a_ρ и a_z — безразмерные среднеквадратичные амплитуды радиальных и вертикальных колебаний, приведенные к радиусу орбиты; $K_{2/3} = K_{2/3}(z)$ и $K_{1/3} = K_{1/3}(z)$ — функции Макдональда, $z = \nu\epsilon^{3/2}$, ν — номер гармоники излучения, $\epsilon = \gamma^{-2} + \psi^2$, $\beta = \sqrt{1 - \gamma^{-2}}$, γ — релятивистский фактор, ψ — угол направления излучения относительно плоскости орбиты.

Для подавления бетатронных колебаний использовался один из вариантов метода магнитной коррекции, предусматривающий принудительное изменение конфигурации и ориентации электронного пучка. В необходимый момент в дополнительную обмотку наклона медианной поверхности синхротрона подавался импульс тока; первая гармоника наклона при соответствующем распределении токов в разных квадрантах магнита оказывала сильное влияние на вертикальный размер пучка. Кроме того, эмпирическим путем была подобрана оптимальная величина синхронного импульса тока в градиентной обмотке. В этом магнитном режиме амплитуда вертикальных колебаний была уменьшена более чем в 3 раза, при незначительном подавлении и радиальных колебаний. Рабочая энергия (570 МэВ) обеспечивала достаточно малые размеры пучка в исходном режиме.

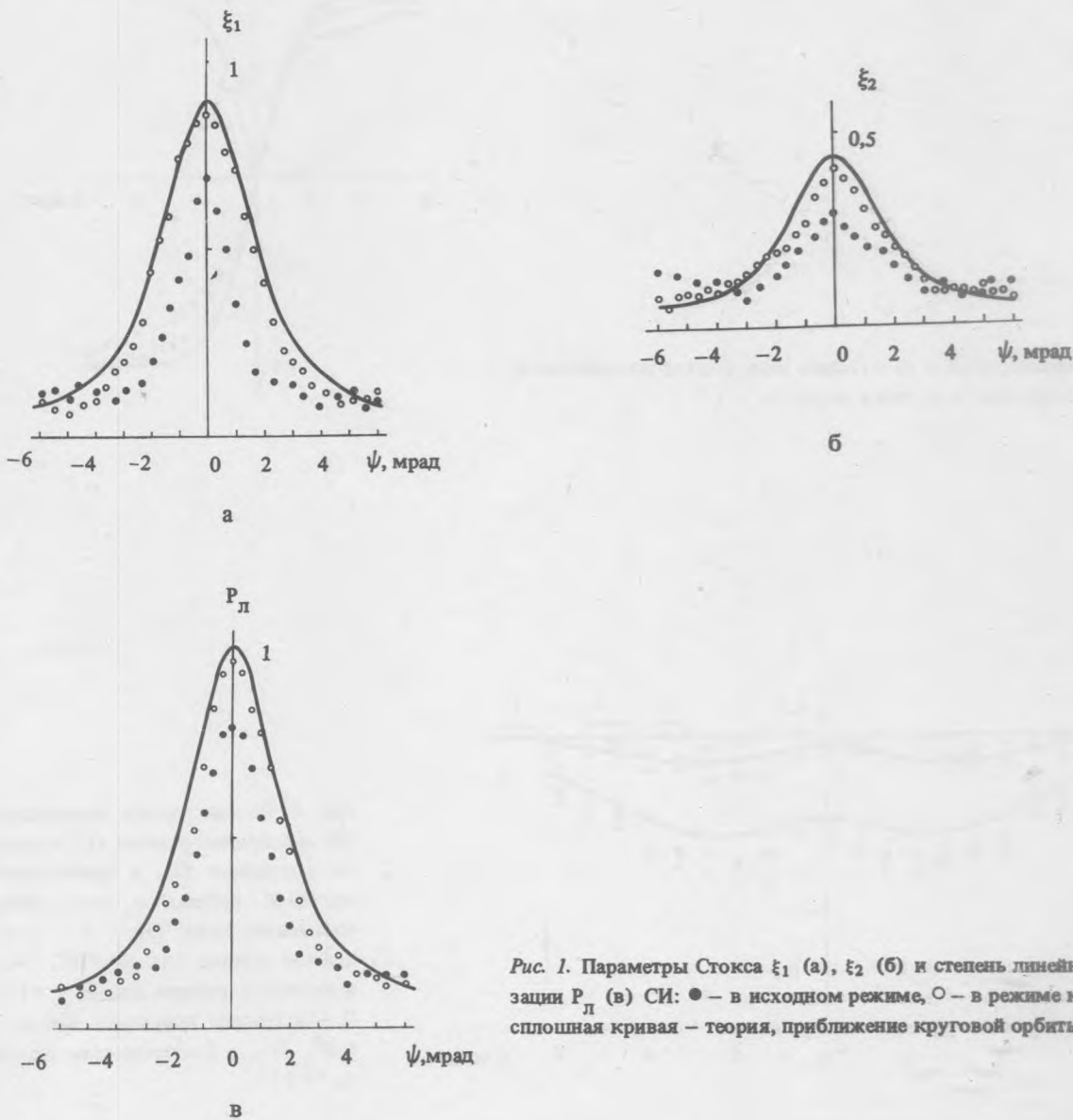


Рис. 1. Параметры Стокса ξ_1 (а), ξ_2 (б) и степень линейной поляризации P_L (в) СИ: ● — в исходном режиме, ○ — в режиме коррекции; сплошная кривая — теория, приближение круговой орбиты.

На рис. 1 приведены результаты измерений параметров Стокса линейной поляризации ξ_1 и ξ_2 и степени линейной поляризации P_L в более интересном в методическом отношении случае $a = 13^\circ, -77^\circ$ (ξ_1), $a = 58^\circ, -32^\circ$ (ξ_2). Значения P_L определены по формуле (1). Аналогичные результаты для циркулярной поляризации представлены на рис. 2. Положительный эффект коррекции очевиден, как и согласие конечных результатов с теорией.

Основные результаты представлены на рис. 3. Теоретические кривые 1, 2 рассчитаны по формуле (4), кривая 3 ($P \equiv 1$) — в приближении круговой орбиты. Экспериментальные значения приведены как для случая $a_0 = 13^\circ$, так и для традиционного случая $a_0 = 0^\circ$ ($a = 0^\circ, 90^\circ, \pm 45^\circ$). Качественное согласие результатов с теорией не вызывает сомнений, количественное согласие также можно считать удовлетворительным.

Рис. 2. Параметр Стокса ξ_3 и степень циркулярной поляризации $P_{\text{ц}} = |\xi_3|$. Обозначения те же, что и на рис. 1.

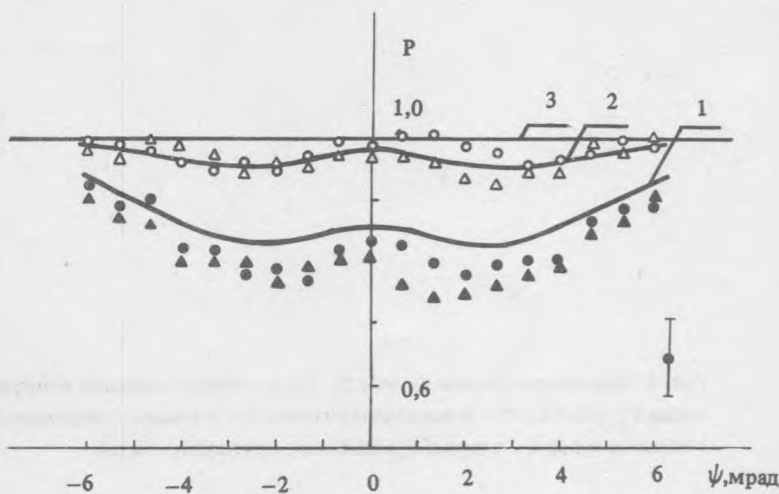
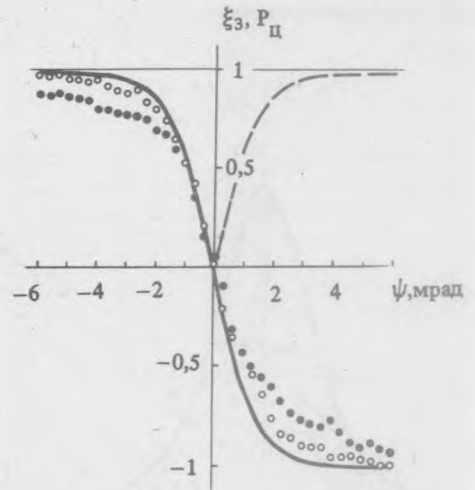


Рис. 3. Полная степень поляризации СИ: в исходном режиме (1), в режиме коррекции (2), в приближении круговой орбиты и однородного магнитного поля (3); ● — в исходном режиме для $a_0 = 0^\circ$, ▲ — в исходном режиме для $a_0 = +13^\circ$, ○ — в режиме коррекции для $a_0 = 0^\circ$, △ — в режиме коррекции для $a_0 = +13^\circ$.

Подтверждена характерная угловая зависимость $P(\psi)$, означающая, что минимальная степень поляризации приходится на область углов $\psi \approx 3$ мрад, соответствующую максимальной амплитуде бетатронных колебаний.

Эффект коррекции очень значителен. Степень поляризации повышена в среднем с $\sim 81\%$ до $\sim 98\%$, а степени линейной ($\psi \approx 0^\circ$) и циркулярной ($\psi > 4$ мрад) поляризации близки к 100%. Результат имеет практическое значение для спектроскопических исследований.

Выражаем благодарность П.А. Кирейко и В.А. Орлову за практическую помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов А. А., Тернов И. М. Релятивистский электрон, М., Наука, 1983.
2. Elder F. R. et al. Phys. Rev., 71, 829 (1947).
3. Королев Ф. А. и др. ДАН СССР, 110, 542 (1956).
4. Королев Ф. А., Куликов О. Ф., Яров А. С. Опт. и спектр., 24, 316 (1968).
5. Гришанин Б. А. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 7, 37 (1984).
6. Шорин К. Н., Яров А. С., Орлов В. А. Опт. и спектр., 51, 855 (1981).
7. Борн М., Вольф Э. Основы оптики, М., Наука, 1970.

Поступила в редакцию 15 июля 1986 г.