

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВИДИМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО
В ПРОМЕЖУТКАХ МАГНИТА СИНХРОТРОНА НА $\sim 0,6$ ГЭВ

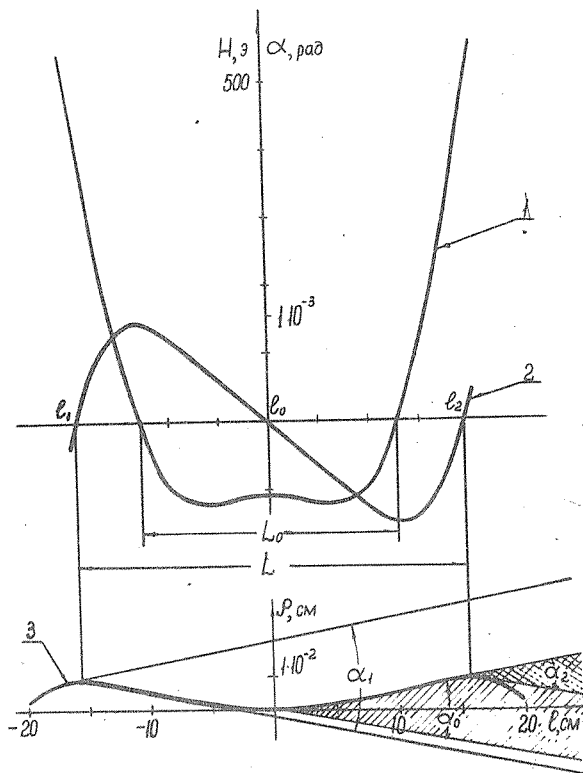
Э. Л. Артемьева, Е. М. Мороз, В. А. Орлов, К. Н. Шорин,
А. С. Яров

УДК 621.384.63

В синхротроне с короткими прямолинейными промежутками получена интерференция видимого излучения, генерируемого в середине и на краях промежутков. Зарегистрированы экстремумы $0,5 \pm 4$ порядков интерференции с видностью $0,59 \pm 0,01$. Показана возможность управления картиной интерференции.

В работах, выполненных на синхротроне "Сириус" /1,2/, показано, что излучение релятивистских электронов, генерируемое вблизи границ длинного прямолинейного промежутка, создает в области перекрытия выводимых пучков интерференционную картину типа полос равного наклона. Опытами в видимой области подтверждена правомерность рассмотрения упомянутого явления как интерференции синхротронного излучения (ИСИ) двух точечных источников, разделенных прямолинейным промежутком и синхронизуемых движением ускоренных электронов. Отмечена возможность использования ИСИ для решения ряда научных и прикладных задач, в том числе для диагностики синхротрона. В синхротроне ФИАН с энергией $E \sim 0,6$ ГэВ относительная малость длины промежутков ($\sim 0,5$ м) и наличие в них значительного магнитного поля рассеяния (~ 600 Э. в середине при $E = 0,6$ ГэВ) препятствуют возникновению ИСИ в проектном режиме работы ускорителя /3/. В то же время, компенсация рассеянного поля промежутков или создание в их середине симметричного участка с отрицательным полем обеспечили необходимое перекрытие пучков и явление ИСИ на этом ускорителе наблюдалось экспериментально /4/.

Введение в середину промежутка регулируемого по величине отрицательного магнитного поля предпочтительнее отсутствия, как в /1,2/, поля рассеяния, так как обеспечивает полное совмещение осей интерферирующих пучков, возможность выбора величины магнитного поля в точках их генерации, возможность регулировки разности хода лучей.



Р и с: 1. Характеристики режимов генерации излучения в промежутках синхротрона: 1 - распределение поля H ; 2 - динамика угла α поворота оси пучков; 3 - участок орбиты электронов ρ - отклонение от прямой 1; $\alpha_{1,2,0}$ - углы расхождения излучения, генерируемого в соответствующих точках промежутка

На рис. I для одного из режимов исследования ИСИ в синхротроне ФИАН приведены: распределение вертикальной составляющей H магнитного поля по координате l прямолинейного промежутка (кривая 1); зависимость от l углов α поворота осей генерируемых пучков, относительного угла SI в центре промежутка (кривая 2); соответствующий участок орбиты электронов $p(l)$ (кривая 3). Полное совмещение осей пучков SI , генерируемых в точках $l_{1,2}$ имеет место при выполнении соотношения

$$\begin{cases} l_2 \\ | \text{на} l = 0. \\ l_1 \end{cases} \quad (I)$$

обеспечивающего равенство $\alpha(l_1) = \alpha(l_2) = 0$. Упомянутые выше регулировки (величины поля генерации и разности хода интерферирующих лучей) осуществляются в этом случае изменением величины $| \text{на} l$.

На интерференционную картину, строго говоря, влияет третий пучок SI , генерируемый при $l = l_0 = 0$. Оценки показывают, что, вследствие симметрии распределения поля H и чередования его знака в точках $l_{1,0,2}$ пучков SI с центром в l_0 , увеличивая видность интерференционной картины, практически не влияет на условия возникновения интерференционных экстремумов и может, поэтому, не учитываться в ряде применений. Эксперимент подтвердил правильность сделанных оценок.

В синхротроне ФИАН ИСИ большой видности было обнаружено в процессе исследования свойств излучения трехполудлинного ондулятора /4/. Соответствующее ондуляторное излучение (ОИ) является частным случаем иллюстрируемого рис. I режима ИСИ при $|H(l_{1,2})| \sim |H(l_0)|$. Чередование знака сравнимого по величине поля H в точках $l_{1,0,2}$ и наличие большой области перекрытия трех пучков придают генерируемому излучению характерные черты ОИ /4/.

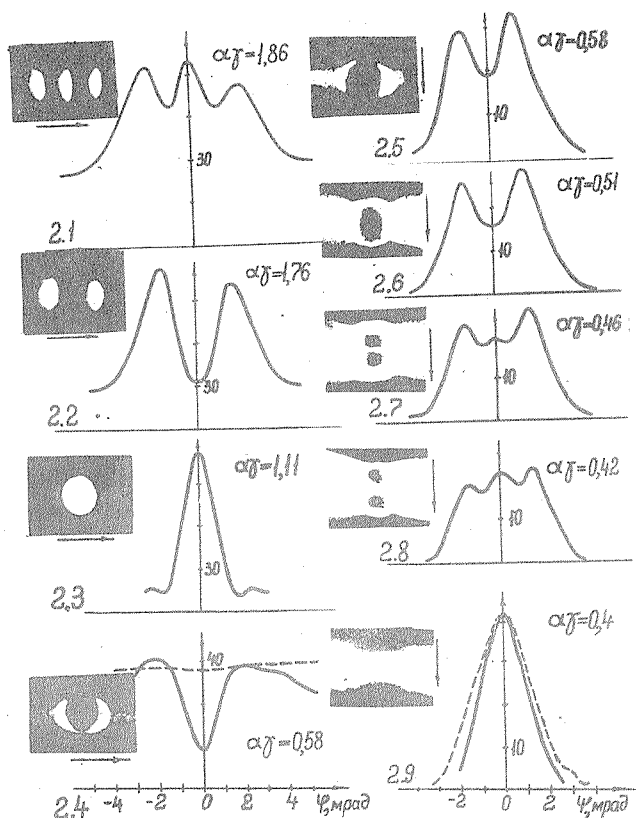
В обоих режимах (генерации ОИ и исследования ИСИ) отрицательное поле в центре промежутков создавалось прямоугольным импульсом регулируемого по величине тока с амплитудой J_k в специальных корректирующих катушках. Начало импульса синхронизовалось с выбранной энергией E электронов. Характеристики генерируемых пучков исследовались преимущественно скоростной

киносъемкой с последующим фотометрированием кинограмм. Увеличение энергии и магнитного поля в течение времени действия импульса тока J_k вызывало постепенное уменьшение величины созданного в центре промежутка отрицательного поля и сопровождалось поэтому фиксируемой киносъемкой эволюцией поперечного сечения исследуемого пучка излучения. При больших значениях отрицательного поля, в начале импульса тока J_k , генерировалось типичное ОИ с характерной трансформацией горизонтально-углового распределения интенсивности излучения. ИСИ, наблюдаемая при меньших полях, к концу импульса сопровождалась трансформацией вертикально-углового распределения интенсивности.

На рис. 2 приведены девять фрагментов киносъемки σ -компонента поперечного сечения пучков излучения при $J_k \approx \text{const}$ с соответствующими распределениями плотности интенсивности I на длине волны $\lambda = 578 \text{ нм}$ ($\Delta\lambda = 9,5 \text{ нм}$) в процессе увеличения энергии электронов от 252 (рис. 2.1) до 355 (рис. 2.9) МэВ. Кадры 2.1-2.4 соответствуют излучению с характерной трансформацией горизонтально-углового (по φ) распределения интенсивности (условно - режим ОИ). На кадрах 2.5 - 2.9 приведена эволюция вертикально-углового распределения (по ψ) интенсивности (условно - режим ИСИ). Соответствующие исходные (без отрицательного поля в промежутке) распределения интенсивности излучения - пунктирные кривые на рис. 2.4, 2.9. Стрелки слева на всех рис. 2 указывают направление фотометрирования центрального участка соответствующих кадров киносъемки. Величина $\alpha\gamma$ для каждого кадра характеризует отношение угла α поворота оси пучка излучения на участке L_0 (рис. 1) к углу γ^{-1} расходимости СИ (здесь, как обычно, γ -отношение энергии E к энергии покоя электрона E_0). Легко заметить, что переход от ОИ с $\alpha\gamma \gg 1$ к режиму ИСИ с $\alpha\gamma \ll 1$ происходит при $\alpha\gamma \sim 1$. Переходный режим (рис. 2.4, 2.5) с $\alpha\gamma = 0,58$ сопровождается трансформацией в примерно равной мере как вертикального (рис. 2.5), так и горизонтального (рис. 2.4) распределений интенсивности излучения.

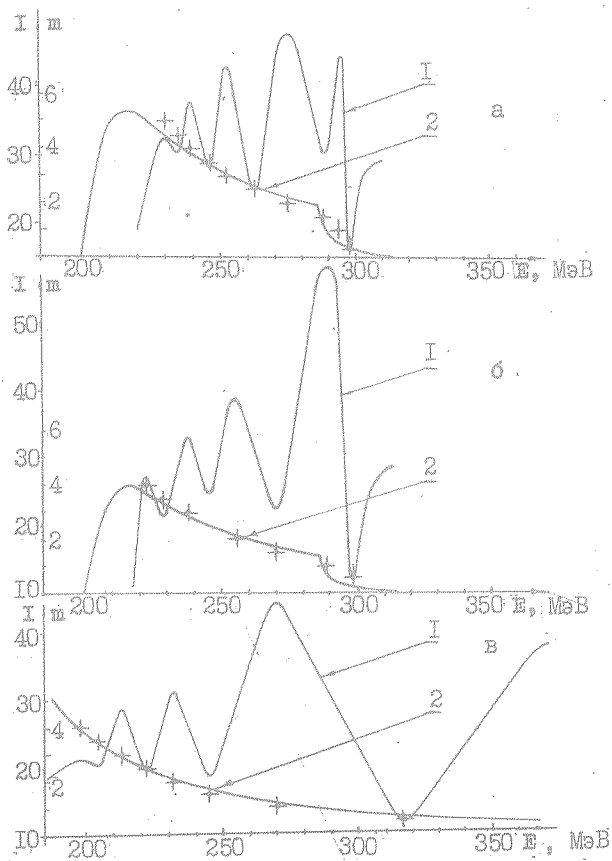
Весьма характерен кадр 2.6, соответствующий 0,5 порядку интерференции в центре пучка излучения ($\psi = 0$) при одновремен-

ном появлении "кольца" I-го порядка /1,2/ под углом $\psi_1 = 1,37$ рад. (Здесь видность 0,5-го порядка интерференции $V_{0,5} \sim 0,24$). Величина L соответствует расстоянию (см. рис. 1) между "источниками" $L \approx \lambda/\psi_1^2 = 0,33$ м, что на 6% больше расчетно-



Р и с. 2. Эволюция поперечного сечения пучка излучения (кадры кино съемки и распределения интенсивности) в режимах ОИ (2.1 + 2.4) и ИСИ (2.5 + 2.9). Соответствующие кадры фотометрированы в направлении стрелок, энергия E в опыте увеличивалась от 2.1 к 2.9

то L , вычисленного по известному распределению поля H (рис. 1) и соотношению (1). Источник расхождения очевиден, так как в данной работе не учтено влияние на параметр L дополнительного искажения орбит электронов, сопровождающего режим ИСИ.



Р и с. 3. Интерференционные эффекты на общей оси пучков излучения: 1 - модуляция интенсивности $I(E)$ (в σ -компоненте); 2 - расчетные кривые и экспериментальные точки зависимости порядка интерференции m от энергии E в основном (в) и форсированном (а, б) режимах

Характерные для ИСИ эффекты модуляции интенсивности излучения в центре области перекрытия пучков /1,2/, возникающие в процессе ускорения электронов, иллюстрирует рис. 3. Здесь кривые 1 - наблюдаемая в опытах модуляция интенсивности излучения I, а кривые 2 - соответствующие расчетные зависимости порядка m интерференции от энергии E электронов для трех значений тока J_k в корректирующих катушках. Здесь же нанесены экспериментальные точки зависимости $m(E)$ для целых (1,5) и полуцелых (0,5 - 4,5) значений при $\lambda = 578$ нм ($\Delta\lambda = 9,5$ нм).

На рис. 3 в приведен основной режим ИСИ, охватывающий область энергий $E = 180 - 380$ МэВ при токе $J_k = 39,8$ А. С достаточной видностью ($V_{0,5} \sim 0,59$; $V_1 \sim 0,50$; $V_{1,5} \sim 0,33$; $V_2 \sim 0,24$; $V_{2,5} \sim 0,21$; $V_3 \sim 0,18$; $V_{3,5} \sim 0,09$; $V_4 \sim 0,01$) и в хорошем согласии с расчетом здесь идентифицированы экстремумы $I(m)$ для 0,5 - 4 порядков интерференции. В аналогичном дополнительном опыте определены значения E при $m = 0,5$ для $\lambda = 500$ и 600 нм также в хорошем согласии с соответствующим расчетом.

На рис. 3 б и 3 а приведены результаты форсировки тока J_k на 10 и 20% соответственно. Кривые $m(E)$ построены с учетом изменений тока J_k на фронтах импульсов. Смещение экспериментальных точек от расчетных кривых 2 объясняется дополнительным искажением орбит электронов. Все экстремумы кривых $I(E)$ легко идентифицируются по порядку m интерференции с помощью минимума при $m = 0,5$ с характерным монотонным ростом интенсивности, обусловленным нулевым порядком интерференции, в области $E > E(m = 0,5)$.

Для всех кривых 2 рис. 3 входящее в формулу $m = \Delta t c / \lambda$ время запаздывания поля излучения определялось как $\Delta t = l_p / \beta c - l/c$, где l_p - длина участка орбиты электронов между точками генерации, разделенными расстоянием l (рис. 1); βc и c - скорости электронов и света. Величины l_p вычислялись по данным магнитных измерений с помощью соотношения

$$l_p = \int_{l_1}^{l_2} dl \left\{ 1 - \left[(300/\beta E) \int_0^1 n(\eta) d\eta \right] \right\}^{21/2},$$

где E - в эВ, n - в э, l - в см.

Таким образом, в синхротроне с большим полем рассеяния можно возбудить и использовать ИСИ большой видности. Отрицательное поле в центре промежутка расширяет возможности использования явления.

Авторы благодарны Е. Г. Бессонову, П. А. Кирейко, В. Е. Писареву и Ю. В. Пономареву.

Поступила в редакцию
25 июня 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. М. М. Никитин, А. Ф. Медведев, М. Б. Моисеев, Письма в ЖЭФ, 5, № 14, 843 (1979).
2. М. М. Никитин и др., ЖЭФ, 79, № 3 (9), 764 (1980).
3. Е. М. Мороз, В. А. Петухов, М. Н. Якименко, Труды III Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т. I, "Наука", М., 1973 г., с. 31.
4. З. Л. Артемьева и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 1, 36 (1981).