

МЕТОД ГЕНЕРАЦИИ ОНДУЛЯТОРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РАССЕЯННОМ ПОЛЕ ПРОМЕЖУТКОВ МАГНИТА СИНХРОТРОНА

З. Д. Артемьева, Е. Г. Бессонов, К. Н. Шорин, А. С. Яров

УДК 621.384.63

Исследовано ондуляторное излучение, возбуждаемое небольшим возмущением рассеянного поля промежутков магнита синхротрона на $\sim 0,6$ ГэВ. В видимой области наблюдались все основные особенности излучения этого типа. Условия генерации его трех низших гармоник близки к расчету по известной теории.

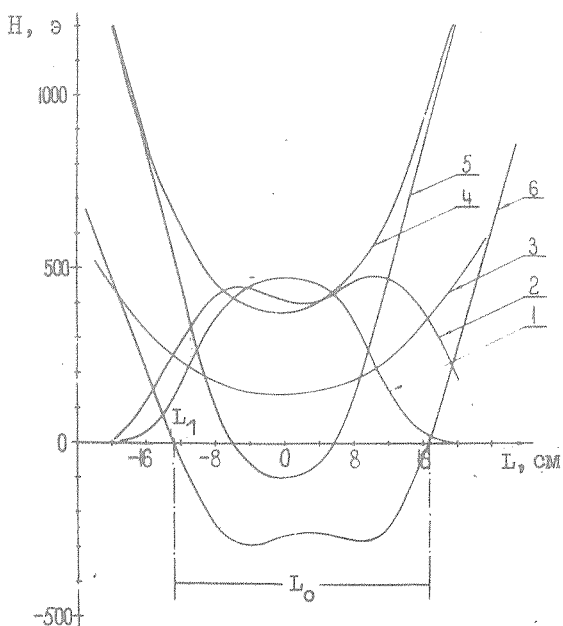
В синхротроне ФИАН с энергией $\sim 0,6$ ГэВ с помощью небольшого возмущения поля рассеяния в одном из промежутков магнита ускорителя было возбуждено и исследовано магнитотормозное излучение, отличавшееся от обычного синхротронного (СИ) типичными для ондуляторного излучения (ОИ) особенностями спектральных и поляризационно-угловых характеристик /1,2/.

Исследование проводилось с помощью скоростной киносъемки сечения выводимого пучка излучения на фиксированной волне $\lambda = 578$ нм в диапазоне энергий ускоренных электронов $E = 150 - 400$ МэВ. Отчетливо наблюдались по крайней мере три низшие гармоники ОИ, возникавшие и существовавшие каждая в своей области энергий E . В конце исследованного диапазона наблюдались также интерференционные эффекты /3,4/ генерации СИ с обоих краев промежутка.

Для возбуждения описываемых явлений в середину промежутка импульсно, с помощью безжелезных катушек, вводилась вертикальная составляющая H магнитного поля, имеющая обратный знак относительно знака поля в круговых секторах магнита. В некотором диапазоне величин вводимого возмущения область генерации излучения в промежутке разбивалась на три участка с чередованием

знака магнитного поля, а угол α поворота конуса излучения на среднем из этих трех участков становился равным $\alpha \sim \gamma^{-1}$, так что возникал своеобразный ондулятор с тремя полуволнами поля.

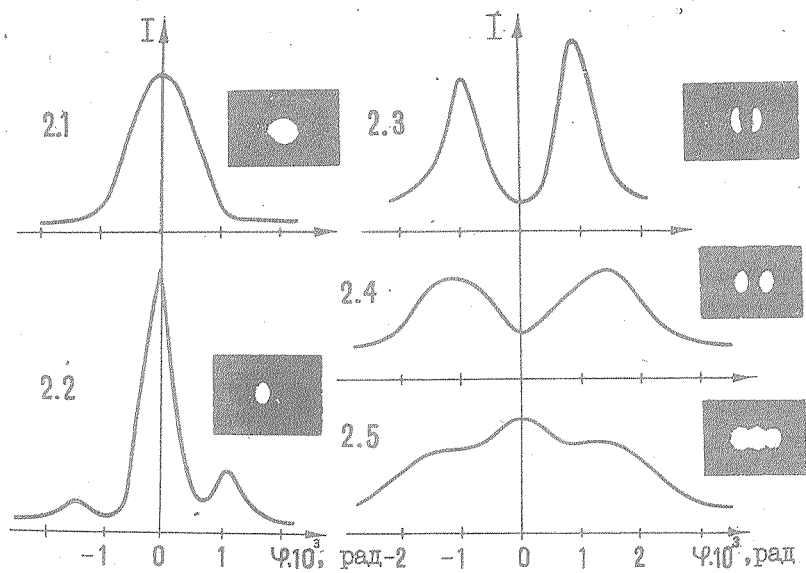
Вносимое в этом режиме возмущение первой гармоники орбиты ускоряемых частиц, обычно отсутствующее в идеальном ондуляторе /1,2/, могло быть полностью скомпенсировано с помощью имеющейся импульсной системы коррекции. На практике эта система использовалась лишь частично, как устройство юстировки направления оси выводимого пучка ОИ в пределах угла $|\Delta\alpha| \sim 6^\circ$. Импульсные



Р и с. 1. Распределение магнитного поля H по длине L промежутка синхротрона: 1,2 - вносимое возмущение (варианты), 3,4 - невозмущенное поле соответственно при энергии электронов 150 и 400 МэВ; 5,6 - поле ондулятора (энергии электронов 150 или 400 МэВ, варианты возмущения 2 или 1 соответственно)

токи питания катушек возмущения и обмоток системы коррекции не выходили из диапазона ± 70 А. Начала прямоугольных импульсов возмущения поля промежутков и коррекции орбиты (длительность $\sim 0,1$ с) были привязаны с относительной точностью $\sim 0,5\%$ к значениям энергии $E = 150, 200, 250$ и 300 МэВ.

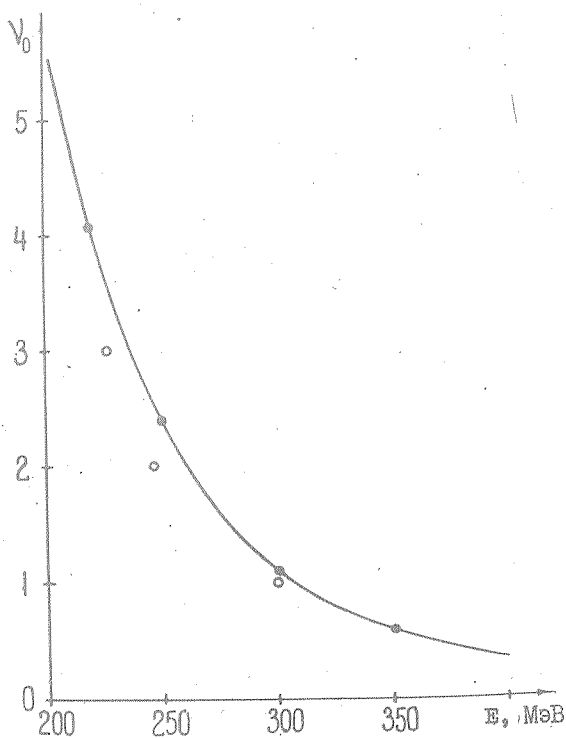
В режимах описываемого эксперимента вносимое в промежуток поле (кривые 1,2 на рис. 1) вычитается из невозмущенного рассеянного поля (кривые 3,4 на рис. 1), создавая отрицательную полуволну, близкую по форме к синусоиде, как кривая 5 на рис. 1, или несколько утолщенную, подобно кривой 6 на рис. 1. Амплитуда



Р и с. 2. Фрагменты киносъемки и горизонтально-угловое распределение интенсивности σ_0 -компоненты ОИ: 2.1 - в первой гармонике ОИ ($\nu_0 \sim 1$); 2.2 - при генерации первой (пик в центре) и второй (боковые пики) гармоник одновременно ($1 < \nu_0 < 2$); 2.3 и 2.4 - во второй гармонике при $\nu_0 \lesssim 2$ и $\nu_0 \gtrsim 2$ соответственно; 2.5 - в области генерации третьей гармоники ($\nu_0 \sim 3$)

импульсов возмущения в течение опыта не изменялась, благодаря чему область отрицательного поля уменьшалась по мере увеличения энергии E .

С помощью зеркала с алюминиевым покрытием генерируемое излучение выводилось из камеры ускорителя и собиралось светосильным объективом с фокусным расстоянием 1000 мм. Воспроизводимое в фокальной плоскости объектива угловое распределение интенсивности излучения проектировалось затем на пленку скоростной кинокамеры. Периодически использовался визуальный (без объектива) контроль сечения выводимого пучка с помощью диффузного



Р и с. 3. Зависимость номера гармоники излучения от энергии E электронов: — теория, \circ эксперимент

экрана, находящегося на расстоянии ~ 5 м от середины промежутка. Монохроматичность исследуемого излучения обеспечивалась желтым светофильтром с максимумом пропускания на $\lambda = 578$ нм в полосе $\Delta\lambda \sim 20$ нм. Киносъемка проводилась как для σ - и π -компонент излучения /2/ в отдельности (с помощью стандартного поляроида), так и для излучения, содержащего обе компоненты.

На рис. 2 приведено горизонтально-угловое (по углу φ) распределение интенсивности I σ -компоненты излучения в некоторых фазах процесса генерации ОИ, отличавшихся величиной ν_0 - номера гармоники, наблюдаемой по оси конуса излучения. Фон кривых 2.1+2.5 соответствует уровню и распределению по интенсивности СИ, генерируемого в тех же условиях, что и ОИ на прилегающих участках промежутка. Легко видеть, что наличие в излучении любой из трех гармоник ОИ приводит к увеличению интенсивности излучения (под углом $\varphi \sim 0$ для первой и третьей гармоник и $\varphi \neq 0$ для второй гармоники). Очевидна и более высокая по сравнению с СИ горизонтальная направленность ОИ. Некоторая несимметрия кривых 2.1+2.5 объясняется очевидной из рис. 1 несимметрией вносимого в промежуток поля, вызванной техническими причинами.

По данным киносъемки π -компоненты излучения, в пучках ОИ при $\varphi \sim 0$ наблюдается также более высокая, чем в СИ, степень линейной поляризации, что полностью соответствует теории ондуляторного излучения /1,2/.

На рис. 3 наряду с расчетной кривой $\nu_0(E)$ показаны также экспериментальные точки, соответствующие максимумам 1-3 гармоник ОИ. Предполагается, что именно в этих точках ν_0 принимает целочисленные значения. Расчетная кривая построена с помощью вытекающих из работы /2/ соотношений:

$$\nu_0 = (1/2\gamma^2\lambda) [1 + (8\xi^2)^{-1}],$$

$$\xi = 1703 / \int_{L_1}^{L_1+L_0} \text{NdL}, \quad \gamma = 0,511,$$

где H в Э; E в МэВ; I_0 , l , λ — в см, а длина l периода ондулятора определена из условия $\int_{-l/2}^{+l/2} \sin \pi x/l = 0$ для симметричной относительно середины промежутка области.

Наблюдаемое на рис. 3 смещение всех экспериментальных точек от расчетной кривой в сторону меньших E является, как следует из работы /5/, в основном следствием малости числа полуволн в исследуемом ондуляторе и, как показывают оценки, может быть значительно уменьшено при детальном численном расчете кривой $\gamma_0(E)$.

Подобный трехполуволновый ондулятор, использующий главным образом, рассеянное магнитное поле промежутка, близкий по свойствам, как показано, к соответствующему стандартному прибору /1,4,5/, может быть применен для генерации ОИ не только в видимом диапазоне. Представляется возможным осуществить аналогичный, очевидно, более эффективный, пятиполуволновый ондулятор.

Авторы благодарны за помощь и интерес к работе Ю. М. Александрову, П. А. Кирейко, А. А. Комару, В. И. Манько, В. Н. Махову, В. Е. Писареву, М. Н. Якименко.

Поступила в редакцию
30 октября 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. Е. Г. Бессонов, Труды УИ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т. 2, Дубна, 1979 г., стр. 203.
2. И. М. Тернов и др., изв. ВУЗов, Физика, № 2, 213, 5 (1980).
3. R. Bossart et. al., Nucl. Instr. Meth., 164, 375 (1979).
4. М. М. Никитин, А. Ф. Медведев, М. Б. Мошсеев, Письма в ЖТФ, 5, № 14, 843 (1979).
5. Д. Ф. Алферов, Ю. А. Башмаков, Е. Г. Бессонов, ЖТФ, 41, 1991 (1972).