

Объединенный
институт
ядерных
исследований
Дубна

3247/2-81

29/6-81

P9-81-245

И.А.Голутвин, А.А.Мальцев, В.П.Саранцев,
В.А.Свиридов

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОЛЕЦ
ПО СИНХРОТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

Направлено в ЖТФ

1981

Для исследования параметров пучка в компрессоре ускорителя электронных колец Отдела новых методов ускорения Объединенного института ядерных исследований разработаны различные методы диагностики электронного кольца по синхротронному излучению /СИ/ электронов в инфракрасной /ИК/ области /спектр СИ при существующих параметрах компрессора расположен, в основном, в ИК-области/. Созданные измерительные системы позволяют без разрушения кольца и какого-либо воздействия на его состояние проводить измерение размеров кольца в различные моменты времени и измерение числа электронов в сгустке, изучать динамику сжатия кольца / R -траекторию/, угловое распределение электронов в нем и некоторые другие параметры.

Основные формулы, описывающие СИ, приведены в работах ^{1-5/}. Выводы теории подтверждены экспериментом. СИ с достаточной точностью может быть описано довольно простыми выражениями классической электродинамики. Большая часть интенсивности СИ сосредоточена в узком конусе вблизи плоскости орбиты и содержит широкий спектр длин волн, максимум которого приходится на длину волны $\lambda_m = 0,42 \lambda_c$, где

$$\lambda_c = 4/3 \pi \cdot R \cdot \gamma^{-3},$$

R - радиус орбиты, $\gamma = E/m_0 c^2$ - релятивистский фактор.

Спектральное распределение мощности СИ имеет вид

$$W(\lambda) = \frac{3^{5/2}}{16 \pi^2} \cdot \frac{e^2 \cdot c}{R^3} \cdot \gamma^7 \cdot G(x),$$

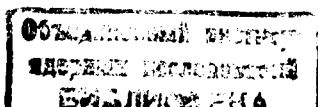
где e - заряд электрона, c - скорость света, $G(x) = x^3 \int_x^\infty K_{5/3}(\eta) d\eta$, $x = \lambda_c / \lambda$.

В выражении G(x) интеграл содержит функцию Макдональда $K_{5/3}(\eta)$. Рассчитанное спектральное распределение СИ для нескольких значений энергий электронов в компрессоре показано на рис.1. Максимум СИ приходится на ИК-область / $\lambda_m \geq 1$ мкм/.

Мощность СИ, испускаемая за один оборот релятивистским электроном, движущимся по окружности радиуса R, определяется формулой

$$W = \frac{2}{3} \cdot \frac{e^2 c}{R^2} \cdot \gamma^4.$$

Мощность СИ кольца при присущих кольцу плотностях электронов линейно связана с числом электронов в кольце. СИ эллиптически поляризовано. Интенсивность излучения, поляризованного параллельно плоскости орбиты, в 7 раз больше излучения с перпендикулярной поляризацией.



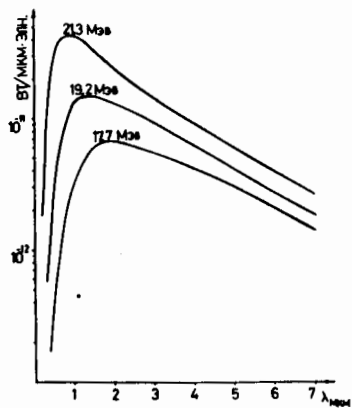


Рис.1. Спектральные характеристики СИ электронов в компрессоре УТИ при радиусах кольца $R = 3,58; 4,02; 4,42$ см.

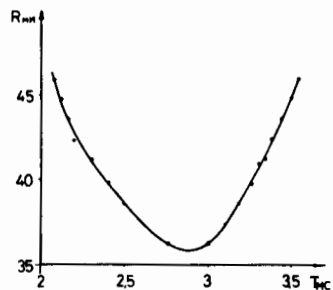


Рис.2. Зависимость радиуса электронного кольца от времени сжатия.

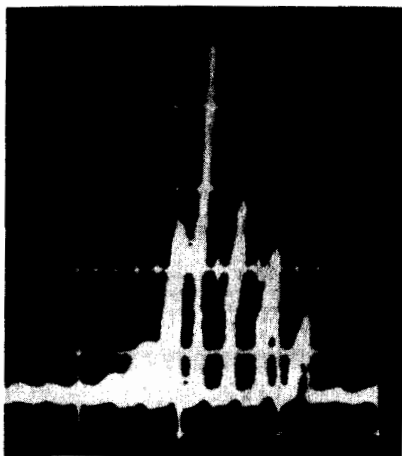


Рис.3. Распределение плотности электронов в кольце по радиусу, измеренное с помощью многоэлементного фотоприемника.

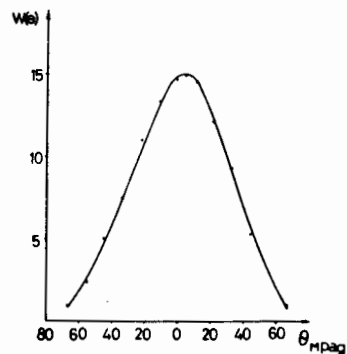


Рис.4. Угловое распределение СИ электронов в адгезаторе УТИ.

Измерительная аппаратура состояла из трех систем датчиков /6-7/. Одноэлементный датчик представлял собой кремниевый фотодиод в однокорпусном интегральном исполнении с предусилителем. Максимум чувствительности его лежал в области длин

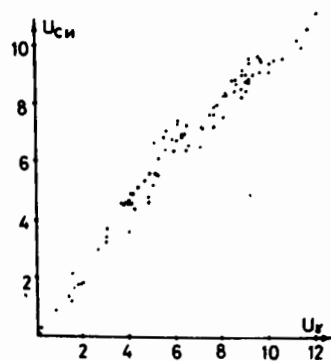


Рис.5. Соотношение между величинами сигнала датчика СИ и детектора γ -квантов, регистрирующего тормозное излучение электронов в конце цикла ускорения.

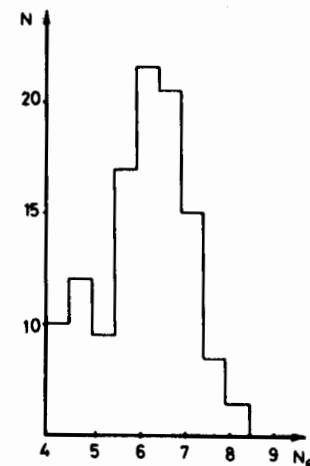


Рис.6. Распределение по интенсивности колец в адгезаторе в одном из сеансов его работы.

$\sim 0,8$ мкм. Этот датчик прост в исполнении и в обращении и служил, в основном, для целей мониторинга.

Двухэлементный датчик /материал чувствительного элемента - селенид свинца/ предназначался для абсолютных измерений интенсивности синхротронного излучения кольца. Электронная система, связанная с ним, позволяла эффективно подавлять электромагнитные помехи и проводить измерения с относительной точностью $\sim 0,2\%$.

Многоэлементный датчик /50-элементная линейка из охлаждаемых жидким азотом фотосопротивлений/ был установлен в фокальной плоскости оптического канала /8/ для измерения радиальной координаты и поперечных размеров малого сечения кольца. Электроника всех измерительных систем была выполнена в стандарте КАМАК и работала в реальном масштабе времени с ЭВМ М-6000. Шаг измерений во времени - 40 мкс, что позволяло в одном цикле компрессора /длительность импульса СИ - порядка 1 мс/ изучать характеристики кольца на широком участке R-траектории.

Результаты измерений иллюстрируют рис.2-4. R-траектория, измеренная для одного из режимов работы ускорителя, показана на рис.2.

Размеры сечения кольцевого сгустка по координатам R и Z можно оценить из соответствующего распределения плотности электронов в кольце, измеренного с помощью многоэлементного фотоприемника /рис.3/.

Измерения углового распределения СИ и его мощности производились одновременно двумя фотоприемниками. Угловое распределение СИ при энергии электронов 20,1 МэВ приведено на рис.4. Полуширина распределения определяется, в основном, бетатронными колебаниями электронов в кольце.

На рис.5 приведена экспериментально измеренная зависимость величины сигнала датчика СИ от сигнала детектора γ -квантов, регистрирующего тормозное излучение электронов, образующееся в конце цикла ускорителя при разрушении кольца. Приблизительно зависимость линейная. Полная мощность СИ может быть определена, если известна абсолютная спектральная чувствительность приемника. Последняя измерена по известным спектрам калибровочного теплового источника^{9,10/} и проверена на электронном синхротроне ЛИЯФ^{11/}. Число электронов в кольце N_e может быть вычислено, если известна мощность СИ одного электрона (w) и измерена суммарная мощность $W=N_e \cdot w$.

На рис.6 в качестве примера приведено в относительных единицах распределение по интенсивности колец в адгезаторе в одном из сеансов его работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иваненко Д.Д., Померанчук И.Я. ДАН СССР, 1944, 44, с.343.
2. Tomboulian D.H., Hartman P.L. Phys.Rev., 1956, 102, p.1423.
3. Синхротронное излучение. Сб. под ред. А.А.Соколова и И.М.Тернова. "Мир", М., 1966.
4. Годвин Р. УФН, 1970, 101, №3, с.493.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.Теория поля. "Наука", М., 1973, с.255.
6. Беспалова Т.В. и др. ОИЯИ, 9-11095, Дубна, 1977.
7. Лачинов В.М. и др. ОИЯИ, Р9-81-201, Дубна, 1981.
8. Белинская Г.И. и др. ОИЯИ, Р9-9281, Дубна, 1975.
9. Свет Д.Я. Температурные излучения металлов и некоторых веществ. "Металлургия", М., 1964.
10. Брамсон М.А. Справочные таблицы по инфракрасному излучению нагретых тел. "Наука", М., 1964.
11. Волков Ю.М. и др. ОИЯИ, Р9-81-157, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 апреля 1981 года.