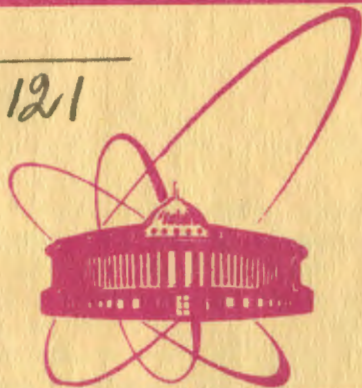


Г-121



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

3488/2-81

13/11-81

P9-81-223

И.Габанец, В.М.Жабицкий, А.Д.Степанов

ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕКОТОРЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОННОГО КОЛЬЦА
В АДГЕЗАТОРЕ МОДЕЛИ
КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ

Направлено в ЖТФ

1981

В адгезаторе модели коллективного ускорителя формирование электронного кольца осуществляется в быстро изменяющемся во времени мягкофокусирующем магнитном поле^{1/1}. После окончания работы инжекционной системы электроны, образующие кольцо, совершают бетатронные колебания около равновесной орбиты в постоянном магнитном поле H_z . В захваченном пучке могут иметь место колебания возмущений азимутальной плотности пучка, когерентные бетатронные колебания и т.д. Эти колебания сопровождаются возникновением высокочастотной компоненты тока, которой соответствует сложный амплитудно-частотный спектр^{2/2}. В частности, спектр содержит частоту вращения f_0 электронов в кольце и частоты радиальных f_r и аксиальных f_z бетатронных колебаний. Измерив эти частоты, можно определить ряд параметров электронного кольца: радиус равновесной орбиты R_p ; показатель спада магнитного поля n на этом радиусе; величину кулоновской поправки в показателе спада $\Delta n_{кул}$ и т.д.

В данной работе проведено измерение возбуждаемых электронным кольцом высокочастотных электромагнитных полей в области частот f_0 , f_r и f_z . Схема измерений приведена на рис.1. В качестве датчика высокочастотного электромагнитного поля исполь-

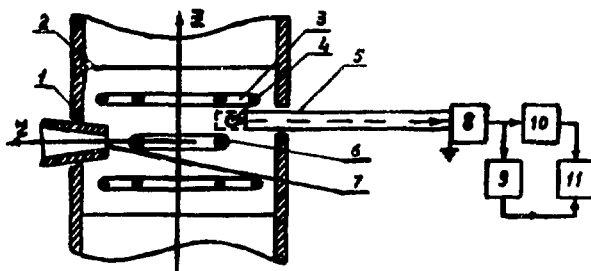


Рис.1. Схема измерений спектра ВЧ колебаний кольца: 1 - камера адгезатора; 2 - сетчатые экраны; 3 - витки быстрого поля; 4 - измерительная петля; 5 - экран измерительной линии; 6 - электронное кольцо; 7 - сопло инжектора пучка; 8 - заграждающий и полосовые фильтры; 9 - детектор; 10 - импульсный анализатор спектра радиосигналов; 11 - осциллограф.

зовалась помещенная внутри камеры адгезатора /1/ петля /4/, которая могла передвигаться по r и z и ориентироваться на любую компоненту магнитного поля кольца /6/. От электрических полей петля была экранирована. Кабельная линия помещена в медную трубу /5/. Сигнал с петли по коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 50 Ом, длиной 30 м подавался через фильтры на импульсный анализатор спектра /10/. Для исключения ложных откликов по промежуточной частоте и зеркальному каналу применялись заграждающий и полосовые фильтры /8/. Огибающая ВЧ сигнала с детектора/9/ и отклики анализатора спектра можно было фиксировать с помощью запоминающего осциллографа /11/. Измерительная система была прокалибрована, для чего вместо датчика /4/ подключался ВЧ генератор. Максимальная чувствительность в области частот 20 ± 800 МГц получилась не хуже 0,3 мВ.

Собственные частоты камеры и ее узлов /витки импульсного магнитного поля /3/, инжектор /7/, сетчатые экраны /2/ и т.д./ создают фоновый спектр. Они были измерены при возбуждении камеры адгезатора ВЧ генератором или пучком. В последнем случае пучок совершал один или часть оборота в постоянном магнитном поле и высаживался на коллектор, что приводило к ударному возбуждению камеры и ее узлов на собственных частотах. В результате таких измерений для камеры и ее узлов были определены собственные частоты в диапазоне 20 ± 200 МГц и величины добротности Q на собственных частотах $/Q = 20 \pm 100/$.

Измерения частот в режиме захвата пучка проводились при длительности стробирующего импульса /1-5/ мкс через $\Delta t \geq 0,5-10/$ мкс после инъекции. Величина Δt выбиралась большей, чем время затухания свободных колебаний камеры, возникающих вследствие ударного возбуждения пучком в момент инъекции. Амплитуды измеренных частот колебаний пучка лежат в пределах /10-100/ мВ, причем их уменьшение во времени происходит намного медленнее, чем для свободных колебаний. Длительность регистрируемых высокочастотных сигналов в пределах чувствительности используемой измерительной системы составляла 2 ± 10 мкс и зависела от величины захваченного тока кольца. На рис.2 приведен спектр радиоимпульса на частоте обращения f_0 . Ширина

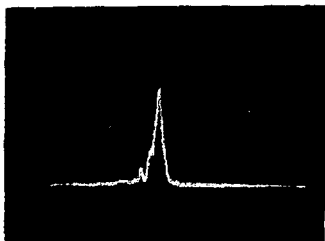


Рис.2. Спектр радиоимпульса на частота f_0 обращения электронов в кольце: $f_0 = 140$ МГц; развертка по горизонтали - 2 МГц/дел.

спектральных линий Δf в основном определяется количеством регистрируемых периодов сигнала с датчика и разбросом электронов по энергии ΔE в кольце. Если за промежуток времени измерения сигнала с датчика регистрируется N периодов синусоиды с частотой f , то ширина спектральной линии по основанию $\Delta f \approx 2f/N^{1/2}$. Из-за разброса электронов по энергиям $\Delta f \approx 2,5$ МГц при $\Delta E/E \approx 0,02^{1/2}$. Промежуток времени измерения сигнала с датчика задается длительностью стробирующего импульса, и при периоде обращения электронов в кольце 8 нс получаем $N > 100$. Таким образом, в проведенных измерениях ширина спектральных линий в диапазоне частот 50 \pm 150 МГц определяется величиной ΔE .

При совпадении или близости f_0 , f_r и f_z к одной из собственных частот камеры и ее узлов учитывался возникающий сдвиг частот f_0 , f_r и $f_z^{1/2}$. Для этого измерялась зависимость частоты от величины постоянного магнитного поля при изменении последнего в небольших пределах.

Идентификация частот f_0 , f_r и f_z среди измеряемых осуществлялась следующим образом. Диапазон частот, в котором содержится f_0 , был определен на основе изложенных в ^{3/} расчетов динамики пучка в процессе инжекции. При числе электронов в кольце $N_e \leq 5 \cdot 10^{12}$, малых размерах кольца $a_r \approx a_z \approx 1$ см, релятивистском факторе $\gamma \approx 4$ и $R_p \approx 32$ см для f_0 , f_r и f_z согласно ^{4/} можно записать следующие приближенные соотношения:

$$\nu_r^2 = (f_r / f_0)^2 \approx 1 - n - \Delta n_{\text{кул.}} ;$$

/1/

$$\nu_z^2 = (f_z / f_0)^2 \approx n - \Delta n_{\text{кул.}} ;$$

где $\Delta n_{\text{кул.}}$ - величина кулоновской поправки в показателе спада, которая пропорциональна числу частиц в кольце и обратно пропорциональна размерам поперечного сечения кольца. Таким образом, при неизменных геометрических параметрах кольца величина $\Delta n_{\text{кул.}}$ пропорциональна захваченному току. На диаграмме чисел ν_r и ν_z , изображенной на рис. ^{3/}, заштрихована область возможных ν_r и ν_z в сформированном кольце. Среди измеренных частот колебаний пучка отбирались те, для которых ν_r и ν_z попадают в заштрихованную область. Отобранные таким образом частоты при разной величине захваченного тока i приведены в таблице. Из /1/ можно записать следующие приближенные соотношения:

$$\nu_r^2 + \nu_z^2 \approx 1 - 2 \cdot \Delta n_{\text{кул.}} ;$$

/2/

$$\nu_r^2 - \nu_z^2 \approx 1 - 2 \cdot n .$$

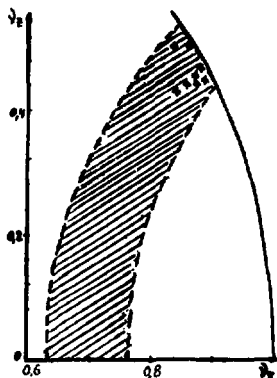


Рис.3. Диаграмма чисел ν_r и ν_z : заштрихована область возможных ν_r и ν_z в сформированном кольце; * - экспериментальные значения.

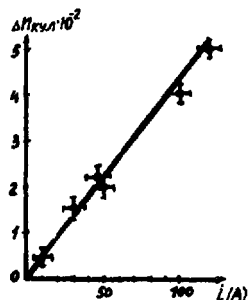


Рис.4. Зависимость величины $\Delta n_{кул.}$ от значения захваченного тока i : * - экспериментальные данные.

Таблица

f_0	f_r	f_z	$i(A)$	n	$\Delta n_{кул.}$	R_p	
						1	2
140.	117.	72.	50.	0,28	0,02	32,9	34,1
143.	122.	63.	100.	0,23	0,04	32,1	31,6
146.	123.	63.	120.	0,24	0,05	31,5	32,1
145.	127.	67.	30.	0,22	0,01	31,7	31,0
141.	122.	64.	45.	0,23	0,02	32,6	31,6
147.	120.	70.	100.	0,23	0,05	31,3	31,6

Используя [2], легко получить величину n на орбите захвата и поправку $\Delta n_{кул.}$ по измеренным величинам f_0 , f_r , f_z . Результаты вычислений приведены в таблице /частоты даны в МГц/. На рис.4 приведена зависимость величины $\Delta n_{кул.}$ от значения захваченного тока i . Данная зависимость получена при изменении величины инжектируемого тока при неизменных остальных параметрах режима захвата инжекционной системы. Как видно из рисунка, эта зависимость практически совпадает с линейной. В таблице также приведены значения R_p , вычисленные на основе результатов измерений f_0 /столбец 1/ и определения $n(R)$ по формулам

/2/ /столбец 2/. В первом случае величина R_p находилась по формуле

$$R_p = \frac{\beta \cdot c}{2\pi f_0}, \quad /3/$$

где $\beta \cdot c$ - азимутальная составляющая скорости электронов в кольце. Ошибка определения R_p при этом составляет

$$\left| \frac{\Delta R_p}{R_p} \right| = \nu_r^{-2} (\nu_r^{-2} - \gamma^{-2}) \frac{\Delta f_0}{f_0}, \quad /4/$$

где Δf_0 - ошибка измерения частоты f_0 , которая связана с разбросом частиц в кольце по энергиям, точностью измерений, статистическими ошибками.

Во втором случае величина R находилась из графика зависимости показателя спада магнитного поля от радиуса^{3/}. В этом случае

$$\left| \frac{\Delta R_p}{R_p} \right| = \left(\frac{R_p}{2\nu_r^2} \frac{\partial n}{\partial R_p} \right)^{-1} \frac{\partial \nu_r}{\nu_r}, \quad /5/$$

где $\Delta \nu_r$ - ошибка в определении ν_r из-за ошибок измерения f_0 и f_r . Величина ошибки определения R_p составляла при расчете по формуле /3/ $\leq 2\%$, а при определении R_p из зависимости $n(R)$ - около 4%, что в основном связано со статистическим разбросом частоты f_r в процессе измерений.

Таким образом, указанный метод позволяет судить о некоторых частотных свойствах электронного кольца и является одним из методов его диагностики.

Авторы выражают благодарность сотрудникам коллектива отдела модели ускорителя ОНМУ за помощь при проведении экспериментов и полезные дискуссии, особенно И.Н.Иванову, А.К.Каминскому, В.П.Рашевскому, А.П.Сергееву.

ЛИТЕРАТУРА

1. Габанец И. и др. ОИЯИ, Д9-10500, Дубна, 1977, с.47.
2. Theoretical Aspects of the Behaviour of Beams in Accelerators and Storage Rings. Ed. Blewett M.H. CERN 77-13, Geneva, 1977.
3. Жабицкий В.М., Иванов И.Н. ОИЯИ, Р9-12660, Дубна, 1979.
4. Иванов И.Н. и др. ЭЧАЯ, 1971, т.1, вып.2, с.391.
5. Харкевич А.А. Спектры и анализ. ГИФМЛ, М., 1962.
6. Калинин В.И., Герштейн Г.М. Введение в радиофизику. ГИТТЛ, М., 1957, с.93-128.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 апреля 1981 года.