

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3873 / 82

16/8-82

9-82-416

Н.Л.Заплатин, Д.Л.Новиков, Е.В.Самсонов

МАГНИТНАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТА
РАСШИРЕНИЯ ОРБИТ
НА ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ
КОЛЬЦЕВОГО ЦИКЛОТРОНА

1982

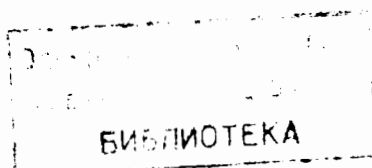
На электронной модели кольцевого циклотрона /ЭМКЦ/^{1/} Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ проводится исследование эффекта расширения орбит /ЭРО/^{2/}, который был обнаружен авторами работы^{2/}. Как следует из^{2/}, при определенном изменении вариации магнитного поля в области конечных радиусов в секторных ускорителях циклотронного типа разделение соседних орбит может быть увеличено в 5-10 раз /до нескольких сантиметров вместо долей сантиметра/. В первых экспериментах по исследованию ЭРО на ЭМКЦ^{3/} наблюдалось увеличение разделения орбит с /3-4/ мм до /3-4/ см. Однако в этих экспериментах одновременно с расширением орбит было отмечено увеличение радиального размера поперечного сечения отделенного пучка. Как показали расчеты на ЭВМ, одной из возможных причин увеличения размера пучка могло быть отсутствие непрерывной зависимости коэффициента расширения орбит от радиуса^{3/}. Разрывная форма коэффициента расширения была вызвана несовершенством формирования требуемого изменения вариации, поскольку для его создания в этом эксперименте использовалась только одна обмотка^{4,5/}. В настоящее время для обеспечения непрерывной зависимости коэффициента расширения орбит от радиуса на ЭМКЦ создана система дополнительных вариационных обмоток.

Расчеты на ЭВМ показали также, что в зоне действия ЭРО когерентные колебания пучка не должны превышать 5 мм, а амплитуды низших гармоник аксиальной составляющей магнитного поля не должны превышать допуски: $V_1, V_2 < 0,05$ Гс. Для выполнения этих требований на электронной модели смонтирована система обмоток коррекции низших гармоник, расположенная в диапазоне радиусов ускорения.

В данном сообщении приводятся параметры вариационных и корректирующих обмоток и рассматриваются их возможности по формированию требуемого изменения вариации, подавления когерентных колебаний пучка, компенсации возмущений магнитного поля.

1. СОЗДАНИЕ ТРЕБУЕМОГО ИЗМЕНЕНИЯ ВАРИАЦИИ

Коэффициент расширения орбит α связан со средним радиусом орбиты R и параметрами магнитного поля следующим соотношением^{6/}:



$$\alpha = \frac{1}{1 + n + \frac{R}{\Lambda} \cdot \frac{d\Lambda}{dR}}, \quad /1/$$

где

$$n = \frac{R}{B} \frac{dB}{dR}, \quad /2/$$

$$\Lambda = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{\epsilon^2}{2N^2} \left(\frac{3}{2} + n + \frac{R}{\epsilon} \cdot \frac{d\epsilon}{dR} \right)},$$

B - среднее поле; $\epsilon = B_N/B$ - вариация магнитного поля, B_N - амплитуда основной гармоники. Поскольку при уменьшении Λ разделение орбит увеличивается пропорционально коэффициенту

$$K = \alpha(1+n), \quad /3/$$

для нахождения параметров магнитного поля, обеспечивающих увеличение разделения, необходимо найти совместное решение уравнений /1/-/3/ при задании соответствующего вида функции $K(R)$. Так как при $n \neq \text{const}$ решение системы уравнений не выражается в элементарных функциях, то можно получить его путем численного интегрирования, приведя систему /1/-/3/ к следующему виду:

$$\frac{d\Lambda}{dR} = \frac{\Lambda}{R} (1+n) \left(\frac{1}{K} - 1 \right), \quad /4/$$

$$\frac{d\epsilon}{dR} = \frac{2N^2}{R\epsilon} (\Lambda^2 - \Lambda) - \frac{3 + 2n}{2R} \epsilon.$$

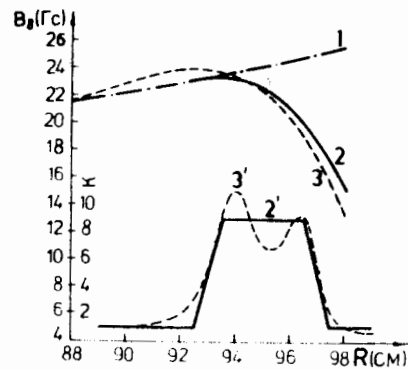


Рис.1. Характеристики магнитного поля в зоне действия эффекта расширения: 1 - амплитуда восьмой гармоники $B_g(R)$ в режиме без расширения орбит; 2 и 2' - расчетные зависимости $B_g(R)$ и $K(R)$ в режиме расширения; 3 и 3' - экспериментальные зависимости $B_g(R)$ и $K(R)$ в режиме расширения.

На рис.1 представлены результаты интегрирования системы /4/ в зоне конечных радиусов ЭМКЦ. В этих расчетах для значения n использовалось достаточное приближение, соответствующее изохронному полю в отсутствие вариации:

$$n = \frac{R^2}{\left(\frac{c}{2\pi f}\right)^2 - R^2}, \quad /5/$$

где c - скорость света; f - частота обращения частиц. Заданная в этом расчете форма изменения $K(R)$ также показана на рис.1. Расчет движения частиц в динамическом режиме для полученной амплитуды $B_g(R)$ /рис.1, кривая 2/ показывает увеличение разделения орбит в /8-10/ раз, что находится в соответствии с величиной K , заданной при интегрировании системы /4/ /рис.1, кривая 2'.

Расчет системы дополнительных вариационных обмоток, с помощью которой было создано требуемое изменение вариации, проводился с использованием программы VACUW /4/. Параметры обмоток приведены в табл.1.

Таблица 1

Параметры дополнительных вариационных обмоток

	R_N	R_K	$2h$	ϕ	θ	$I_{\text{ном.}}$	Материал
	/см/	/см/	/см/	/°/	/°/	/А/	
1	100,0	115,5	14,1	9,5	45	469,5	Трубка М 8x1,5
2	99,5	106,5	9,0	3,3	45	122,5	Трубка М 6x1
3	94,5	98,5	9,0	2,2	45	37,5	Трубка М 6x1
4	93,5	95,5	11,0	1,4	45	7,5	Проволока М-4,00

В табл.1 использованы следующие обозначения: R_N, R_K - начальный и конечный радиусы обмоток; $2h$ - зазор между полюсами; ϕ - угол, отсчитываемый от оси камеры, проходящей через центр инжектора, до середины элемента периодичности обмоток по направлению вращения спиралей основной вариационной обмотки; θ - период; $I_{\text{ном.}}$ - номинальный ток.

Один полюс вариационной обмотки состоит из двух идентичных ветвей, уложенных по дугам окружности и радиальным линиям. Ветви сдвинуты друг относительно друга на половину периода системы - $22,5^\circ$ и по ним пропускаются токи противоположного направления /рис.2/. Это приводит к компенсации среднего поля и к удвоению амплитуды вариации по сравнению с обмоткой, состоящей из одной ветви. На рис.1 /кривые 3 и 3'/ показаны

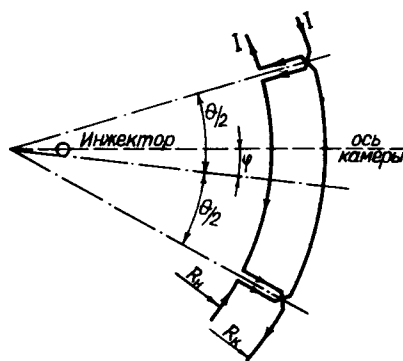


Рис.2. Геометрия дополнительных вариационных обмоток.

результаты измерений магнитного поля при токах вариационных обмоток, указанных в табл.1. Видно, что экспериментально полученная форма зависимости коэффициента расширения орбит имеет вид непрерывной функции, а максимальное значение коэффициента соответствует увеличению энергетического шага орбит в /8-10/ раз.

2. КОМПЕНСАЦИЯ НИЗШИХ ГАРМОНИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Возмущения магнитного поля ЭМКЦ вызываются неточностями изготовления магнитной системы и изменением ее геометрии при вакуумной откачке ускорительной камеры. Как показывают расчеты и эксперименты, возмущения магнитного поля ЭМКЦ влияют на ЭРО двояким образом:

а/ на начальных и средних радиусах, где частота свободных радиальных колебаний близка к 1, возмущения вызывают раскачку когерентных колебаний, которые в свою очередь приводят к "замазыванию" эффекта в зоне конечных радиусов, даже в случае идеально сформированного поля в этой зоне;

б/ в зоне действия эффекта расширения возмущения магнитного поля вызывают увеличение радиального эмиттанса пучка, несмотря на отсутствие когерентных колебаний пучка в зоне, предшествующей расширению.

Анализ расчетов на ЭВМ эффекта расширения показал, что когерентные колебания пучка в зоне конечных радиусов не должны превышать 5 мм, а амплитуды первой и второй гармоник поля должны быть не более 0,05 Гс. Для компенсации первой и второй гармоник возмущения аксиальной составляющей магнитного поля на плакировке и на внешней стороне вакуумной камеры расположены 11 пар обмоток, параметры которых приведены в табл.2.

Таблица 2

Параметры обмоток компенсации низших гармоник

Номер пары	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
\bar{R} /см/	25	35	45	55	65	75	85	95	35	100	100
ΔR /см/	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20
$2h$ /см/	8	8	8	8	8	8	8	8	64	64	64
θ°	60	60	60	60	60	60	60	60	40	120	90
ϕ°	60	60	60	60	60	60	60	60	0	0	78
W	1	1	1	1	1	1	1	1	20	2	5
I_{max} (A)	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

В табл.2 использованы следующие обозначения: \bar{R} - средний радиус; ΔR - радиальная протяженность; $2h$ - зазор между полюсами; θ - угловая протяженность; ϕ - угол между осью камеры и осью обмотки; W - число витков; I_{max} - максимальный ток; K - номер гармоники магнитного поля, создаваемого обмоткой.

На рис.3 приведена геометрия пары таких обмоток, обеспечивающих вращение фазы первой гармоники в интервале 0-360°. а на рис.4 показаны распределения амплитуд первой и второй гармоник магнитного поля в зависимости от радиуса, создаваемые всеми обмотками при максимальном токе.

На рис.5 приведены результаты экспериментов по подавлению когерентных колебаний пучка на начальных радиусах ЭМКЦ с помощью обмоток компенсации. Радиальное положение орбиты фиксировалось тремя пробниками с дифференциальными мишенями, расположенными на азимутах 90°, 180°, 270°. Так как пробники находились на азимутах, соответствующих одной фазе вынужденных колебаний, обусловленных вариацией магнитного поля с периодом

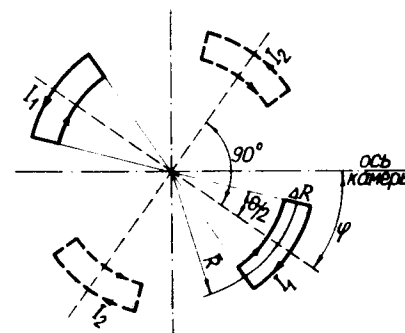


Рис.3. Геометрия обмоток компенсации низших гармоник.

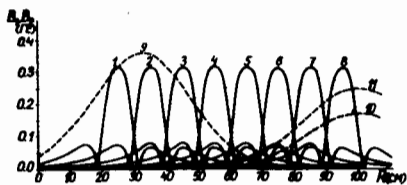


Рис.4. Амплитуды гармоник, создаваемые обмотками компенсации при максимальном токе. Цифры возле кривых соответствуют номерам обмоток в табл.2. Кривые 1-10 - амплитуды первой гармоники, 11 - амплитуда второй гармоники.

45° , нахождение положения орбиты не представляло трудностей. Подбирая экспериментально радиальное распределение амплитуды и фазы первой гармоники магнитного поля, можно было существенно уменьшить когерентные колебания. Из рис.5 видно, что подбором токов в трех парах обмоток компенсации когерентные колебания на радиусе 40 см были уменьшены с 4 см до 0,5 см. Измерения положения орбиты на радиусах /40-90/ см показали, что когерентные колебания также не превышают 0,5 см. Поскольку в этом диапазоне радиусов нет полного разделения орбит, измерение их положения проводилось известным методом теней.

На рис.6 представлен результат экспериментов по компенсации первой и второй гармоник магнитного поля в зоне действия эффекта расширения 92-97 см. Видно, что в результате компенсации низшие гармоники не превышают допуска / $V_1, V_2 < 0,05$ Гс /, полученного из анализа ЭРО на ЭВМ.

Результаты экспериментов по ЭРО с использованием описанной в данном сообщении магнитной системы приведены в [7].

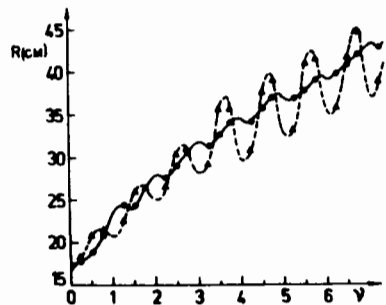


Рис.5. Подавление когерентных колебаний пучка с помощью обмоток компенсации: Δ - положение орбит в зависимости от номера до использования обмоток; \circ - после включения обмоток 1,2,9 /см. табл.2/.

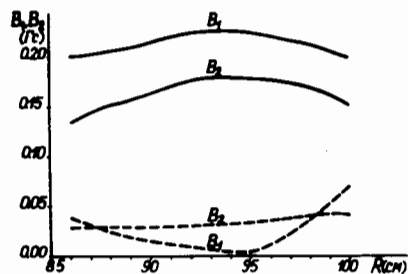


Рис.6. Распределения низших гармоник в зоне действия эффекта расширения: — — до компенсации; - - - - после компенсации.

В заключение авторы благодарят А.А.Глазова, В.П.Дмитриевского и В.В.Кольгу за полезные обсуждения полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аносов В.Н. и др. АЭ, 1968, вып.6, с. 539.
2. Дмитриевский В.П., Кольга В.В., Полумордвинова Н.И. ОИЯИ, Р9-6733, Дубна, 1972.
3. Василенко А.Т. и др. Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1975, с. 205.
4. Заплатин Н.Л., Самсонов Е.В. ОИЯИ, Р9-8257, Дубна, 1974.
5. Василенко А.Т. и др. ОИЯИ, Р9-8256, Дубна, 1974.
6. Дмитриевский В.П. и др. ОИЯИ, Д9-81-280, Дубна, 1981.
7. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, 9-82-188, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 июня 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризаационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Заплатин Н.Л., Новиков Д.Л., Самсонов Е.В. 9-82-416
Магнитная система для исследования эффекта расширения орбит на электронной модели кольцевого циклотрона

Приводятся параметры дополнительной магнитной системы электронной модели кольцевого циклотрона. Система предназначена для исследования на ускорителе эффекта расширения замкнутых орбит. Магнитная система включает в себя 4 обмотки для создания определенного закона амплитуды восьмой гармоники магнитного поля и 11 обмоток компенсации первой и второй гармоник. Приводятся результаты измерений основной и низших гармонических составляющих при использовании данной системы, а также ее возможности по подавлению когерентных колебаний пучка.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Zaplatin N.L., Novikov D.L., Samsonov E.V. 9-82-416
Magnetic System for Investigation of the Orbit Expansion Effect on Electron Model of Ring Cyclotron

The parameters of the additional magnetic system of electron model of ring cyclotron are presented. This system is used for investigation of the closed orbit expansion effect on this accelerator. Magnetic system is divided to 4 windings for creation of the definite law of 8th magnetic field harmonic and 11 winding for compensation of first and second harmonics. The magnetic measurement results of main and lowest harmonics in the presence of that system and its possibilities for compensation of the beam coherent oscillations are described.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.