

A-695

30/V-68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P9 - 3787

ЛАБОРАТОРИЯ
ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

В.Н.Аносов, А.Т.Василенко, С.Б.Ворожцов,
А.А.Глазов, Ю.Н.Денисов, В.П.Джелепов,
В.П.Дмитриевский, Н.И. Дьяков, Б.И.Замолотчиков,
Н.Л.Заплатин, В.В.Кольга, В.А.Кочкин, Д.Л.Новиков,
Л.М.Онищенко, Н.И.Полумордвинова, В.И.Прилипко,
Т.М.Прилипко, Л.А.Саркисян, М.М.Семенов,
Ю.Н.Сусов, П.Т.Шишлянников

РЕЛЯТИВИСТСКИЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЦИКЛОТРОН
С ЖЕСТКОЙ ФОКУСИРОВКОЙ

1968

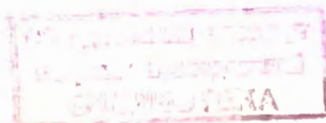
Р9 - 3787

7285/2 up.

В.Н.Аносов, А.Т.Василенко, С.Б.Ворожцов,
А.А.Глазов, Ю.Н.Денисов, В.П.Джелепов,
В.П.Дмитриевский, Н.И. Дьяков, Б.И.Замолдчиков,
Н.Л.Заплатин, В.В.Кольга, В.А.Кочкин, Д.Л.Новиков,
Л.М.Онищенко, Н.И.Полумордвинава, В.И.Прилипко,
Т.М.Прилипко, Л.А.Саркисян, М.М.Семенов,
Ю.Н.Сусов, П.Т.Шишлянников

РЕЛЯТИВИСТСКИЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЦИКЛОТРОН
С ЖЕСТКОЙ ФОКУСИРОВКОЙ

Направлено в АЭ



$$B(r) = \frac{B_0 \sigma}{\sqrt{1 - \left(\frac{r \sigma}{r_\infty}\right)^2}}, \quad (2)$$

где σ определяет влияние глубины вариации (ϵ) на изохронность,

$$r_\infty = \frac{E_0}{e B_0}.$$

Параметр σ вычислялся из условия постоянства периода обращения частицы на различных радиусах при интегрировании точных уравнений движения на ЭВМ /3/. Среднее магнитное поле в модели изменяется от 14 до 25 Гс в интервале от 18 см (радиус инжекции) до 101 см (конечный радиус).

Для достижения жесткой фокусировки в аксиальном направлении при восьмиспиральной структуре магнитного поля ($N=8$) необходимая глубина вариации поля должна изменяться вдоль радиуса в пределах $\epsilon = 1,08 - 1,45$. При этом частота аксиальных колебаний частиц сохранится постоянной и равной $Q_z = 1,1$ во всем диапазоне изменения радиусов. Модель позволяет увеличивать частоту выше значения 1,1 путем соответствующего изменения глубины вариации. Такие значения частот аксиальных колебаний позволяют обеспечить условия для ускорения в этом циклотроне пучков электронов с плотностью до $(1 \div 3) \cdot 10^8$ 1/см³, что соответствует токам в протонном ускорителе — сотен ма. В процессе ускорения частота радиальных колебаний Q_r изменяется от 1,04 до 2,0 ($r = 101$ см), проходя параметрический и нелинейные резонансы и резонансы связи. Аналитический расчет условий прохождения через наиболее опасные из этих резонансов позволил определить допустимые величины низших гармоник в структуре магнитного поля.

Отсутствие фазовой устойчивости приводит к жестким допускам на отклонения среднего магнитного поля от заданного выражением (2).

Создание требуемой конфигурации поля электронной модели осуществляется с помощью симметрично расположенных токовых обмоток.

Вариационная обмотка представляет собой систему двух проводников, уложенных по линиям спиралей Архимеда $r = 64 \phi$ и дугам окружностей $r = 10$ см и $r_k = 114$ см. Угол между прямым и обратным витками

элемента периодичности обмотки выбран равным $\alpha = 22,5^\circ$. Требуемая зависимость амплитуды основной гармоники от радиуса создается за счет изменения вертикального зазора между витками вариационной обмотки в пределах 10–20 см.

Формирование среднего магнитного поля осуществляется при помощи 10 токовых концентрических обмоток, расположенных с равными интервалами по радиусу на расстоянии 12,75 см от медианной плоскости, а также одиночного токового витка, находящегося вблизи конечного радиуса вариационной обмотки.

Для компенсации горизонтальной составляющей магнитного поля Земли в средней плоскости ускорителя используются специальные обмотки, расположенные вне объема ускорительной камеры.

Определение необходимых токов, а также конфигурации и места размещения обмоток производилось путем расчета их магнитного поля на ЭВМ^{/4/}.

Измерения магнитного поля на модели показали, что при введении незначительной коррекции токов в концентрических обмотках заданное магнитное поле оказалось сформированным в пределах допусков.

Измерение характеристик магнитного поля ускорителя производилось при помощи специального измерительного комплекса, состоящего из прецизионного магнитометра с пермалловым датчиком^{/5/}, автоматически перемещающимся в зазоре магнита и специализированной вычислительной машины – цифрового анализатора гармоник^{/6/}, на котором обрабатывались результаты измерений. Точность измерения вертикальной компоненты поля B_z составляла 0,02%. Радиальная составляющая магнитного поля B_r измерялась также пермалловым датчиком, соответствующим образом ориентированным в зазоре магнита. Чувствительность обоих датчиков 0,003 гс.

Ускоряющая система модели обладает рядом особенностей по сравнению с обычными циклотронными системами ускорения. Она отличается малыми рабочими зазорами, высокой рабочей частотой, низким (1,5 – 3 кв) ускоряющим напряжением. Принятая в модели ускоряющая высокочастотная система представляет собой резонансную четвертьволновую линию с 90-градусным дуантом. От генератора к дуанту высокочастотная мощность подводится 75-омным фидером через четвертьволновый согласующий трансформатор. Связь с дуантом кондуктивная. Для обеспечения согласования генератора с нагрузкой при глубокой регулировке тока пучка применена схема

стабилизации нагрузки при помощи лампового эквивалента пучка ^{17/}. Питаящий систему высокочастотный генератор с независимым возбуждением может развивать до 70 квт колебательной мощности.

В ускорителе предусмотрена внешняя и внутренняя инжекции электронов. Пушка для внутренней инжекции состоит из заземленного танталового анода коробчатой конструкции и прямонакального танталового катода с лантанборидовым покрытием, находящегося под потенциалом инжекции 5,8кв. Внешняя инжекция пучка, специально разработанная для модели ^{18/}, предназначена для получения предельных плотностей пучков в фазовом объеме.

Вакуумный объем ускорителя состоит из разделенных форвакуумной и высоковакуумной частей. При этом вакуум в камере ускорителя составляет $(1 \pm 0,8) \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст. и может быть улучшен до 10^{-8} мм рт.ст. при помощи имеющихся сорбционных титановых насосов.

На рис.1 приведен общий вид ускорительной установки. Фотография электронного пучка с флюоресцирующей мишени, двигающейся по радиусу кольцевой зоны ускорителя, приведена на рис.2. Пучок без существенных потерь проходит до предельного радиуса (101 см) и размывается в зоне радиусов 106-108 см .

На модели ускорителя выполняется большой комплекс исследовательских работ, связанных с эффектами коллективного взаимодействия частиц в пучке, и выясняются условия получения предельных интенсивностей пучков в кольцевых ускорителях с жесткой фокусировкой.

Литература

1. В.П.Джелепов, В.П.Дмитриевский, Б.И.Замолодчиков, В.В.Кольга. Авторское свидетельство № 26443 с приоритетом 13.9.1962; *IEEE Trans, NS-13*, 4, 215 (1966).
2. J.A.Martin, J.E. Manly, R.S.Livingston *Int. Conf. on High Energy Acc.*, 355, (1961).
3. В.П.Дмитриевский, В.В.Кольга, Н.И.Полумордвинова, Т.М.Прилипка. Труды международной конференции по ускорителям, Атомиздат, Москва, 1964 с. 608.

4. С.Б.Ворожцов, Н.Л.Заплатин, Л.А.Саркисян. Препринт ОИЯИ Р-9-3448, Дубна 1967 г.
5. Ю.Н.Денисов, А.Г.Комиссаров, П.Т.Шишлянников. Препринт ОИЯИ 2883, Дубна 1966 г.
6. В.Н.Аносов, Ю.Н.Денисов, Н.И.Дьяков, В.И.Прилипко, В.И.Сусов, П.Т.Шишлянников. Препринт ОИЯИ 10-3002-1, Дубна 1966 г.
7. А.А.Глазов, В.А.Кочкин, Л.М.Онищенко, М.М.Семенов. VI Международная конференция по ускорителям высоких энергий, Кэмбридж, США, 1967 г.
8. А.А.Глазов, Д.Л.Новиков. ПТЭ, 2, 33, 1967 г.

Рукопись поступила в издательский отдел

2 апреля 1968 г.

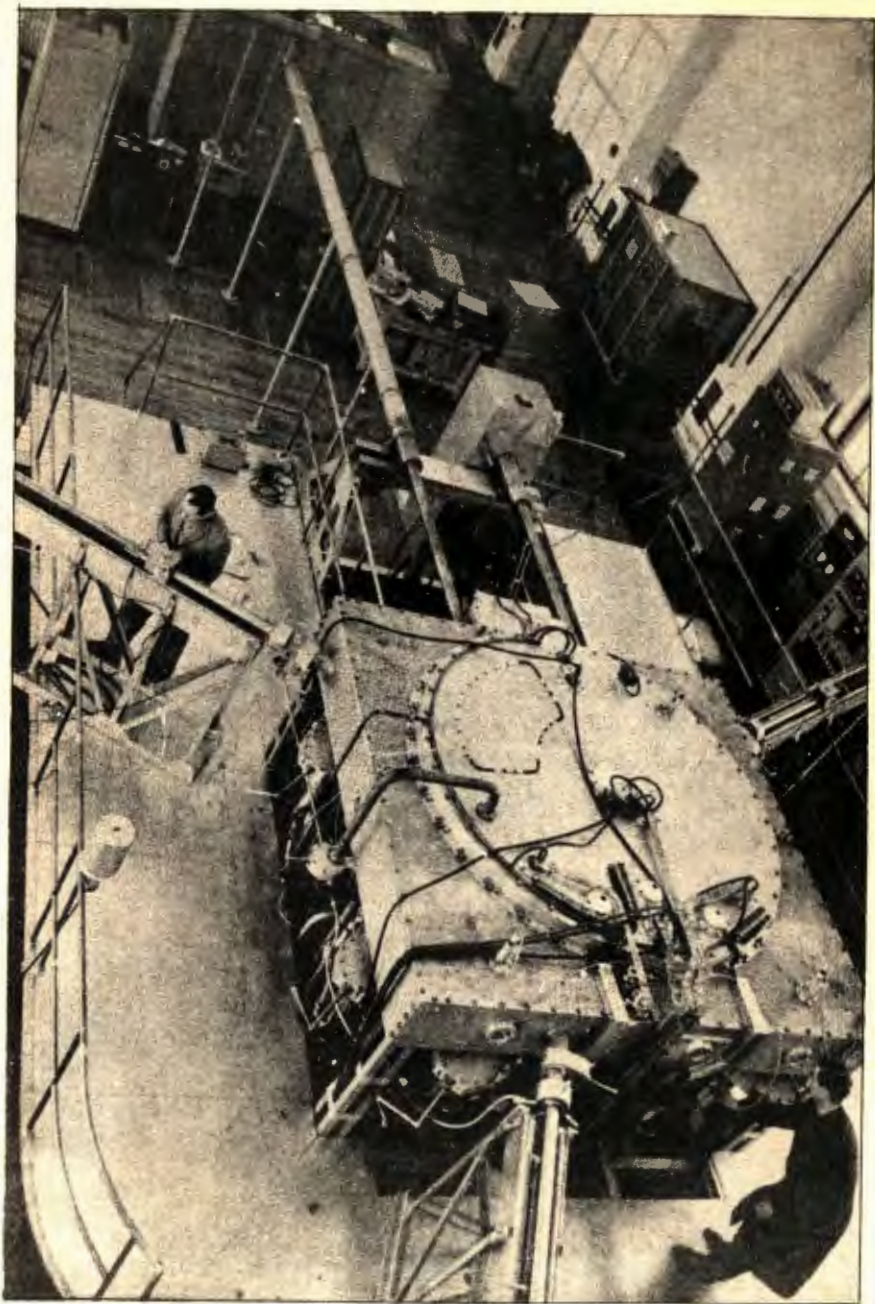


Рис.1 Общий вид ускорителя.

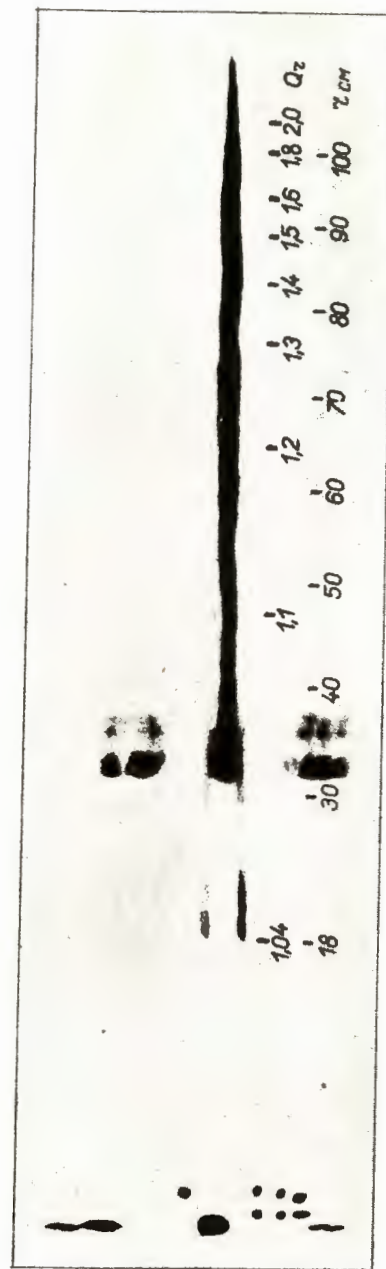


Рис.2 Фотография электронного пучка при движении флуоресцирующей мишени вдоль радиуса.