

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9-95-335

Г.Г.Гульбеян, И.А.Иваненко, А.М.Мордуев, А.В.Тихомиров

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ КАТУШЕК
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОХРОННОГО ПОЛЯ
ЦИКЛОТРОНА У-400 ПРИ ПОНИЖЕННОМ УРОВНЕ
СРЕДНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

1995

Использование корректирующих катушек
для формирования изохронного поля циклотрона У-400
при пониженном уровне среднего магнитного поля

Представлены результаты проведенных экспериментов и моделирования ускорения ионов на сниженных магнитных полях циклотрона У-400. Достигнута 30 + 50% экономия потребляемой электроэнергии. Появилась возможность тонкой настройки энергии выводимых ионов в диапазоне 5 + 10%.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им.Г.Н.Флёрова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1995

Перевод авторов

Gulbekian G.G. et al.

P9-95-335

The Use of Correcting Coils for Forming the Isochronous Field
of the U-400 Cyclotron at the Reduced Level of the Magnetic Field

Results of the experiments and simulation of ion acceleration performed on the reduced magnetic fields of the U-400 cyclotron are presented. 30 + 50% saving of the consumable power has been achieved. A possibility of fine tuning the energy of extracted ions in the range of 5 + 10% has been evolved.

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

Введение

На четырехметровом изохронном циклотроне У-400 с фактором $K = 625$ ускоряются ионы с массовыми числами $7 \leq A \leq 238$ до энергий $20 - 1$ МэВ / нукл. соответственно. Изохронная зависимость магнитного поля от радиуса в диапазоне $1,85 - 2,11$ Тл сформирована кольцевыми и секторными боковыми шиммами. Восемь пар кольцевых радиальных катушек, каждая из которых создает поле до $0,01$ Тл, расположены в зазоре между крышками камеры и секторами.

В связи с возможностью увеличения зарядности ускоряемых ионов с использованием ЕСР-источника ионов проверена возможность снижения среднего магнитного поля, т.е. мощности питания основных обмоток и формирования магнитного поля кольцевыми радиальными катушками. Исследован вывод пучка перезарядкой.

Компьютерное моделирование и экспериментальная проверка

На рис.1 представлены результаты проведенных измерений распределения средних магнитных полей по радиусу от кольцевых радиальных катушек. Питание всех катушек осуществлялось током 500 А.

Суммарный вклад магнитных полей, создаваемых радиальными катушками, покрывает разность между выбранным изохронным распределением магнитного поля для частицы с необходимым отношением A/Z и пониженным магнитным полем циклотрона.

Проведен ряд экспериментов, в ходе которых удалось снизить среднее магнитное поле для ускоряемых частиц с отношением $A/Z = 8$ и $A/Z = 10$ в среднем на $0,13$ Тл, что соответствует снижению мощности питания основного магнита циклотрона на 46% . Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

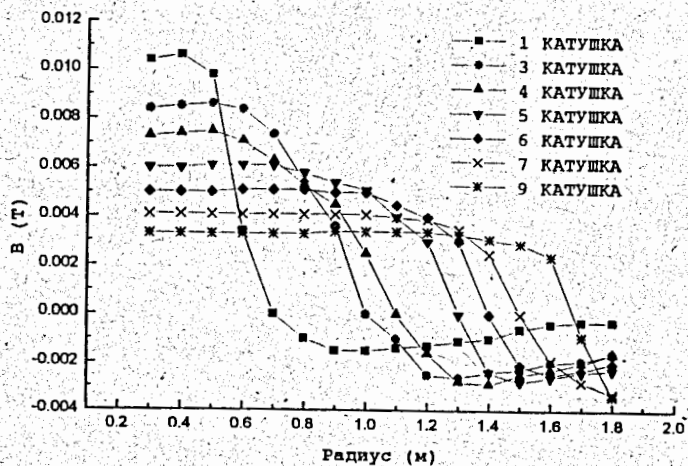


Рис.1. Распределение средних магнитных полей по радиусу от радиальных катушек при токах включения 500 А.

Для сниженных уровней возбуждения магнита на рис.2а и 2б приведены графики распределений среднего поля циклотрона и необходимого изохронного поля по радиусу, а также вклад катушек, покрывающий разность между этими полями.

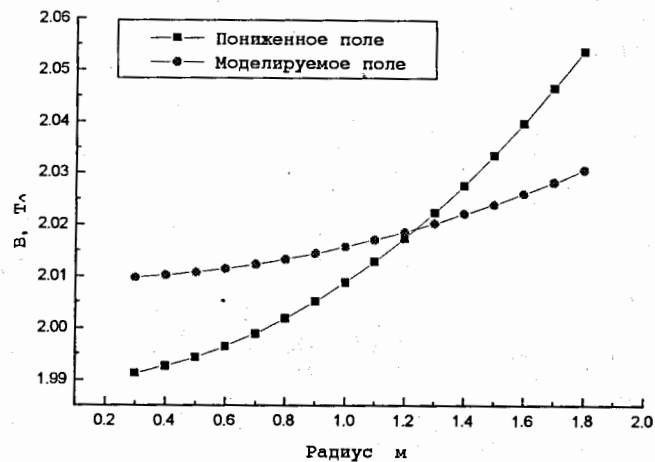


Рис.2а. Необходимое изохронное и пониженное среднее поля циклотрона.

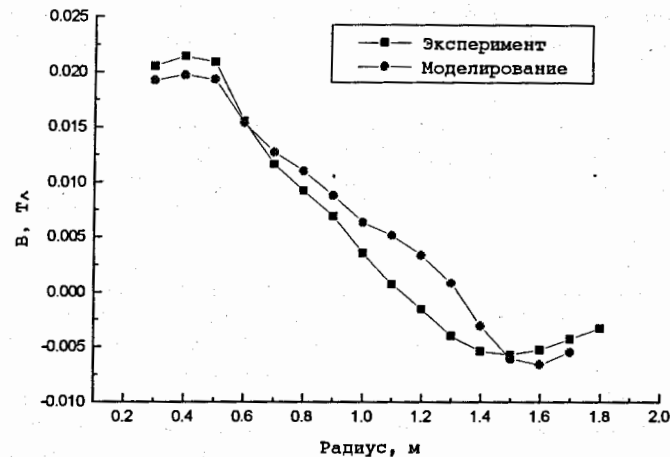


Рис.2б. Экспериментальное и моделированное распределения суммы вкладов полей катушек.

На рис.3 приведен график экспериментальной зависимости энергий выведенного пучка от положения фольги для 1, 2, 3 оборотных выводов методом перезарядки. Данные представлены для иона $40Ar^{+5}$ с отношением $A/Z = 8$ для существующего и пониженных изохронных магнитных полей. Цифрами указаны равновесные заряды ионов после перезарядки на фольге. В спектре зарядностей после перезарядки присутствуют ионы с зарядами +15,+16,+17 [3].

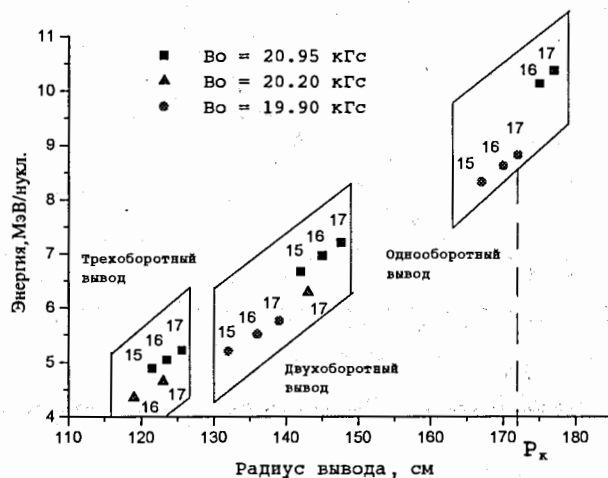


Рис.3. Зависимость энергий выведенного пучка от положения фольги. R_k — конечный радиус ускорения ионов в циклотроне У400, $R_k = 172$ см.

Из-за увеличения заброса пучка при сниженном уровне магнитного поля для существующей геометрии вывода ионов возникает необходимость уменьшения радиуса положения фольги, что приводит к 5÷10% дополнительному снижению энергии выводимых ионов.

Создана программа, формирующая радиальное распределение среднего магнитного поля для ускорения выбранной частицы при сниженном уровне возбуждения магнита с оптимизацией токов включения радиальных катушек. В программе использовались данные, полученные в ходе экспериментов по ускорению ионов на сниженных магнитных полях. Результаты моделирования в сравнении с данными, полученными в ходе вышеуказанных экспериментов, представлены на рис.2а,б.

Таблица 1. Результаты экспериментов по снижению средних магнитных полей У-400. dP/P — отношение изменения мощности электропитания магнита к начальной мощности

A/Z	Тип вывода	Z после фольги	B_0 изохр., Тл	B_0 пониж., Тл	Радиус вывода, см	E, МэВ/п.	Ток, мкА	dP/P
8	1 об.	17	1.990	1.960	172.0	8.8	7.0	0.46
8	1 об.	16	1.990	1.960	170.0	8.6	11.8	0.46
8	1 об.	15	1.990	1.960	167.0	8.3	3.5	0.46

Мощность питания магнита снижена на 46%. Появилась возможность однооборотного вывода перезарядкой ионов с равновесными зарядами +15, +16, +17.

8	2x об.	17	2.095	2.095	147.6	7.2	25	0
8	2x об.	16	2.095	2.095	145.1	6.9	27	0
8	2x об.	15	2.095	2.095	142.0	6.7	5	0
8	2x об.	17	1.990	1.960	139.0	5.7	9	0.46
8	2x об.	16	1.990	1.960	136.0	5.5	26.7	0.46
8	2x об.	15	1.990	1.960	132.0	5.2	21.0	0.46

Мощность питания магнита снижена на 46%.

10	2x об.	17	2.117	2.117	156.0	5.3	18.0	0
10	2x об.	16	2.117	2.117	154.1	5.1	20.0	0
10	2x об.	15	2.117	2.117	151.4	4.9	5.0	0
10	2x об.	17	2.009	1.987	148.0	4.3	2.6	0.44
10	2x об.	16	2.009	1.987	145.0	4.1	10.0	0.44
10	2x об.	15	2.009	1.987	143.0	4.0	3.7	0.44

Мощность питания магнита снижена на 44%. Для повышения интенсивности необходима дополнительная настройка токов формирующих катушек.

Заключение

Представленные результаты проведенных экспериментов и моделирования показали возможность ускорения ионов при использовании пониженных средних магнитных полей циклотрона У-400. При этом достигается 30÷50% экономия потребляемой электроэнергии. Появляется возможность тонкой настройки энергии выводимых ионов в диапазоне 5÷10%. Для ионов с $A/Z=8$ получен однооборотный вывод с равновесными зарядами +15, +16, +17.

Литература

1. Оганесян Ю.Ц. и др. Магнитное поле четырехметрового изохронного циклотрона тяжелых ионов. - ОИЯИ, 9-11992, Дубна, 1978.
2. Гульбемян Г.Г. и др. Четырехметровый изохронный циклотрон тяжелых ионов У-400 с пониженными уровнями средних магнитных полей. - ОИЯИ, Р9-93-323, Дубна, 1993.
3. Гикал Б.Н. и др. Выведенные пучки циклотрона У-400. - ОИЯИ, В1-9-90-435, Дубна, 1990.