

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

96-409

P9-96-409

И.А.Иваненко

АКСЕПТАНСЫ ЦИКЛОТРОНА У-400
ПРИ РАБОТЕ В РЕЖИМЕ ВНЕШНЕЙ ИНЖЕКЦИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕСР-ИСТОЧНИКА

1996

Введение

Изохронный четырехметровый циклотрон У-400 позволяет ускорять ионы с массовыми числами $7 \leq A \leq 238$ до энергий 20 - 1 МэВ/нуклон соответственно. В настоящее время на циклотроне ведутся работы по монтажу и наладке системы внешней инжекции с использованием ECR-источника. Смена системы инжекции требует подробного анализа процессов захвата в ускорение инжектируемых ионов и возможных изменений геометрии центральной области циклотрона. Такой анализ проведен на основе расчета движения ионов в центре циклотрона при помощи программы CENTR. Программа использует численное интегрирование уравнений движения ионов в переменном электрическом и магнитном полях методом Рунге - Кутты 4-го порядка [1]. Электрическое поле получено на основании аналитического приближения с использованием формул [2]:

1. для ускоряющей системы источник - пуллер, определяемой как плоскость - щель,

$$E_y = \frac{V_D}{2\sqrt{0.5\pi}} \frac{1}{\Delta y} \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\Delta y}\right)^2\right] \cos[n\omega(t-t_0)],$$

где $\Delta y = 0.2H + 0.8W$,

2. для ускоряющей системы дуант - антидуант, определяемой как щель - щель,

$$E_y = \frac{V_D}{\sqrt{0.5\pi}} \frac{1}{\Delta y} \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\Delta y}\right)^2\right] \cos[n\omega(t-t_0)],$$

где $\Delta y = 0.2H + 0.4W$,

H - апертура дуантов, W - ширина ускоряющей щели.

Ниже приведены исходные данные, описывающие геометрию центральной области циклотрона, принятую при расчетах:

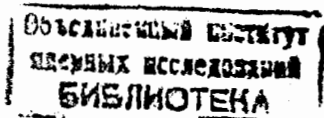
Высота щели пуллера:	HDP = 24 мм
Расстояние источник - пуллер:	GP = 15 мм
Апертура дуантов:	HDD = 24 мм
Ускоряющие промежутки:	GD = 25 мм
Уравнение, описывающее центральную линию ускоряющих промежутков для первого и остальных оборотов:	

$$Y = \pm 0.022 \pm 2.41 X$$

Среднее положение центра щели плоскости источника, формирующей первый ускоряющий промежуток: RZR = 48 мм

Среднее положение центра щели пуллера: RPL = 51 мм

Угол положения центра щели плоскости источника относительно оси симметрии дуантов: FZRS = 47°



Магнитное поле

Карты магнитных полей, используемые при расчетах программой CENTR, были получены путем математической обработки данных измерений за июль-август 1978 года. В распоряжении имеются данные измерений магнитных полей для ускорения частиц с отношением $A/Z = 10$ и 4.3 . Токи основной обмотки магнита 2450 и 1660 А соответственно [3, 4].

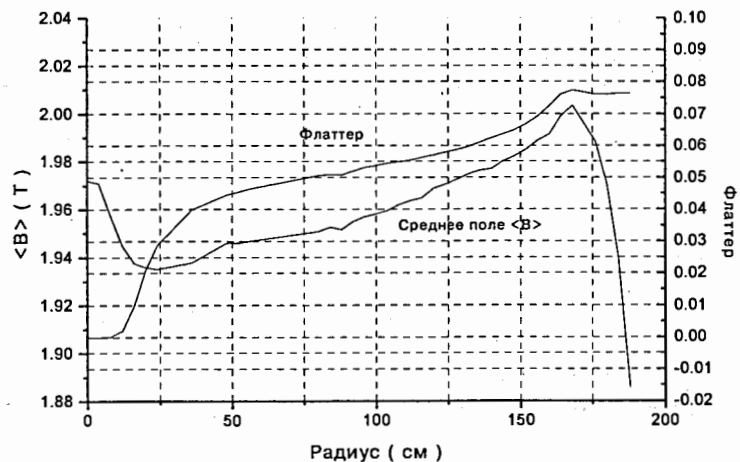


Рис. 1. Среднее магнитное поле и флаттер для ускорения частиц с отношением $A/Z=4.3$

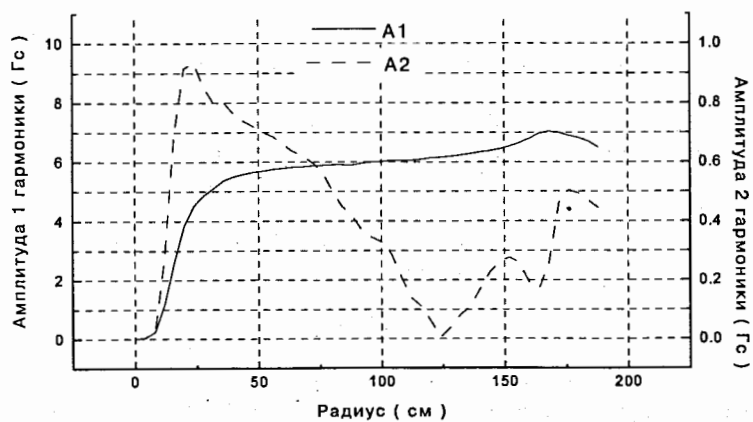


Рис. 2. Первая и вторая гармоники магнитного поля циклотрона для ускорения частиц с отношением $A/Z=4.3$

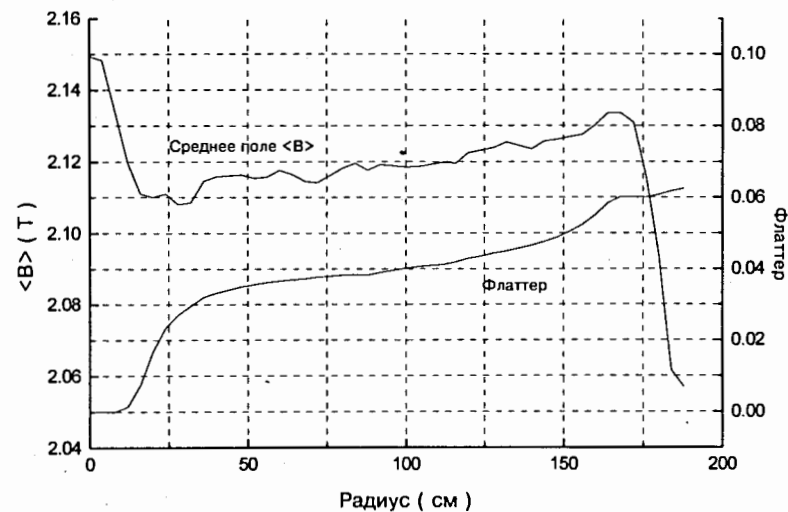


Рис. 3. Среднее магнитное поле и флаттер для ускорения частиц с отношением $A/Z=10$

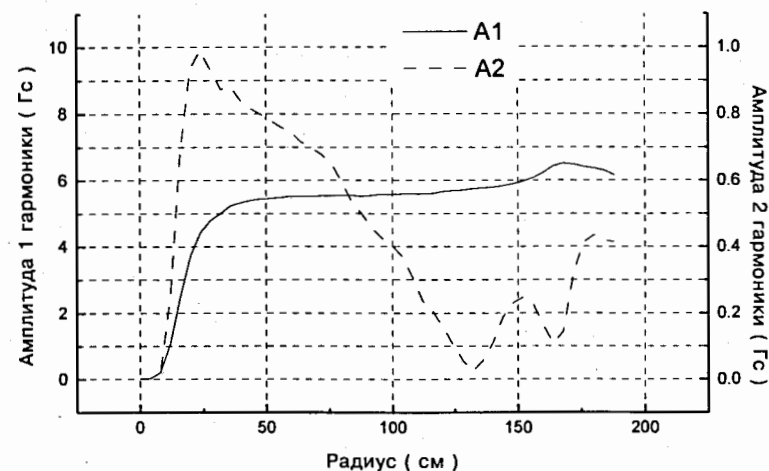


Рис. 4. Первая и вторая гармоники магнитного поля циклотрона для ускорения частиц с отношением $A/Z=4.3$
Карты магнитных полей для частиц с промежуточными отношениями A/Z получены из имеющихся данных методом линейной интерполяции.

Акцептансы циклотрона при использовании ECR-источника

Акцептансы циклотрона рассчитаны для частиц с отношением $A/Z = 5.5$; 7; 8; 10. Расчет проводился для первых пяти оборотов при разбросе по энергии $\Delta E/E$ не более 10% к концу пятого оборота. Конечные радиусы пятого оборота для частиц с A/Z от 5.5 до 10 лежат в диапазоне от 190 до 250 мм. Начальные условия вертикального движения при расчете радиальных акцептансов $Z_0=2$ мм и $Z'_0=3$ градуса. Разброс центров орбит на пятом обороте от центра циклотрона не более 10 мм.

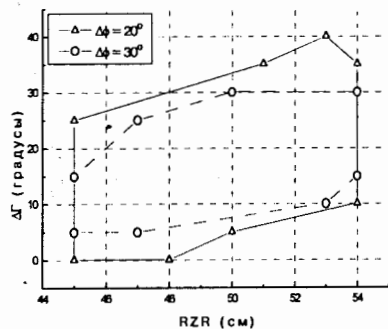


Рис. 5. Радиальный акцептанс циклотрона для частицы с отношением $A/Z=5.5$. Для $\Delta\phi=20^\circ$ $A_r=1370\pi$ (мм*град), для $\Delta\phi=30^\circ$ $A_r=919\pi$ (мм*град)

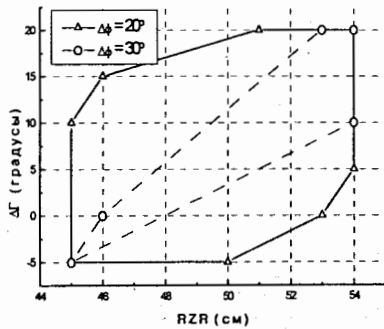


Рис. 6. Радиальный акцептанс циклотрона для частицы с отношением $A/Z=10$. Для $\Delta\phi=20^\circ$ $A_r=1000\pi$ (мм*град), для $\Delta\phi=30^\circ$ $A_r=395\pi$ (мм*град)

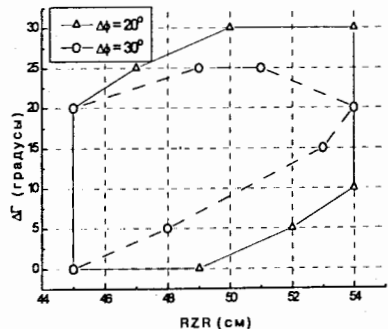


Рис. 7. Радиальный акцептанс циклотрона для частицы с отношением $A/Z=7$. Область захвата в ускорение для $\Delta\phi=20^\circ$ $A_r=1200\pi$ (мм*град), для $\Delta\phi=30^\circ$ $A_r=680\pi$ (мм*град)

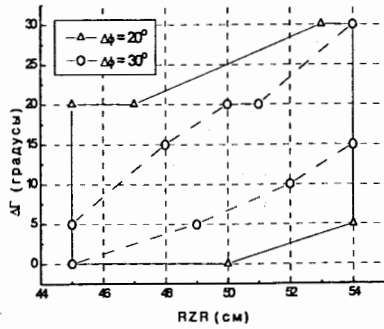


Рис. 8. Радиальный акцептанс циклотрона для частицы с отношением $A/Z=8$. Область захвата в ускорение для $\Delta\phi=20^\circ$ $A_r=1135\pi$ (мм*град), для $\Delta\phi=30^\circ$ $A_r=700\pi$ (мм*град)

На графиках через RZR обозначается расстояние от центра циклотрона до центра щели плоскости источника; $\Delta\Gamma$ - угол между перпендикуляром к радиус-вектору центра щели плоскости источника и вектором скорости частицы, вылетающей из источника. Расчет вертикального акцептанса проведен при значениях $RZR=48$ см и $\Delta\Gamma=10^\circ$ для всех рассматриваемых A/Z .

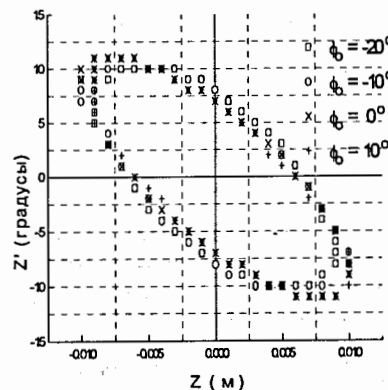


Рис. 9. Вертикальный акцептанс циклотрона для частицы с отношением $A/Z=5.5$ при начальном диапазоне фаз $\Delta\phi_0=30^\circ$. $A_z=1100\pi$ (мм*град)

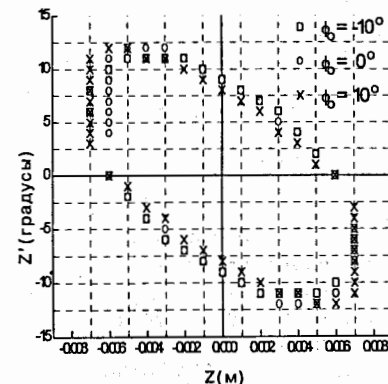


Рис. 10. Вертикальный акцептанс циклотрона для частицы с отношением $A/Z=10$ при начальном диапазоне фаз $\Delta\phi_0=20^\circ$. $A_z=1060\pi$ (мм*град)

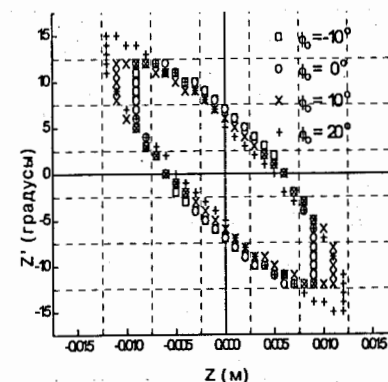


Рис. 11. Вертикальный акцептанс циклотрона для частицы с отношением $A/Z=7$ при начальном диапазоне фаз $\Delta\phi_0=30^\circ$. $A_z=950\pi$ (мм*град)

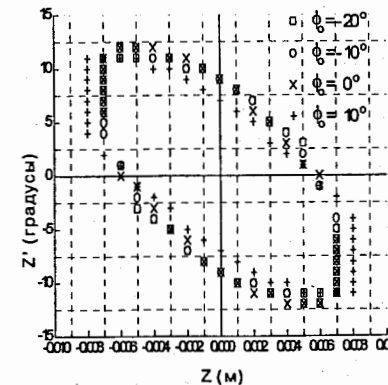


Рис. 12. Вертикальный акцептанс циклотрона для частицы с отношением $A/Z=8$ при начальном диапазоне фаз $\Delta\phi_0=30^\circ$. $A_z=930\pi$ (мм*град)

Ниже приведены графики с совмещенными радиальными аксептансами для всех рассматриваемых отношений A/Z .

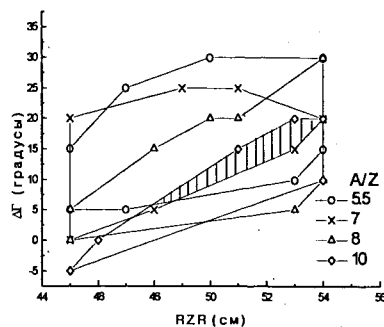
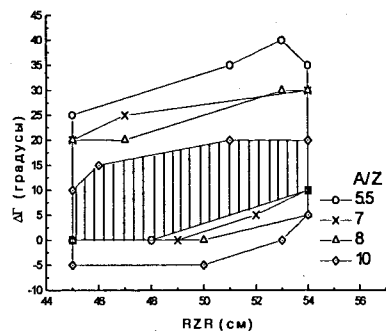


Рис. 13. Радиальные аксептансы циклотрона для частиц с отношением $A/Z=5.5; 7; 8; 10$ при диапазоне начальных фаз $\Delta\phi=20^\circ$. Общая (заштрихованная) область захвата в ускорение $A_r=660\pi$ (мм*мрад)

Рис. 14. Радиальные аксептансы циклотрона для частиц с отношением $A/Z=5.5; 7; 8; 10$ при диапазоне начальных фаз $\Delta\phi=30^\circ$. Общая (заштрихованная) область захвата в ускорение $A_r=210\pi$ (мм*мрад)

В таблице 1 приведены характеристики условий ускорения частиц с выбранными отношениями A/Z при работе в режиме внешней инжекции с использованием ECR-источника, а также результаты расчетов радиальных и вертикальных аксептансов.

Таблица 1

A/Z	10	8	7	5.5
Напряжение инжекции (кВ)	14	17.4	19.4	25
Амплитуда ВЧ-напряжения (кВ)	80	85	85	85
Среднее поле в центре (Т)	2.117	2.095	2.071	2.014
Ток обмотки магнита (А)	2450	2390	2270	2000
Радиальный аксептанс A_r (мм*мрад) для $\Delta\phi_0=20^\circ$	1370π	1135π	1200π	1000π
Радиальный аксептанс A_r (мм*мрад) для $\Delta\phi_0=30^\circ$	395π	700π	680π	919π
Вертикальный аксептанс A_z (мм*мрад)	1060π	930π	950π	1100π

Заключение

Считая радиальным аксептансом ускорителя общую область захвата в ускорение для частиц с диапазоном отношения A/Z от 5.5 до 10 (заштрихованные области на рис. 13 и 14), получаем величины $A_r=660\pi$ (мм*мрад) при диапазоне начальных фаз $\Delta\phi=20^\circ$ и $A_r=210\pi$ (мм*мрад) при диапазоне начальных фаз $\Delta\phi=30^\circ$. Параллельно ведутся расчеты линии транспортировки пучка от ECR-источника до центра циклотрона и его вывод в медианную плоскость при помощи спирального инфлектора. Полученные величины радиальных и вертикальных аксептансов циклотрона У-400 определяют требования к параметрам инжектируемого пучка.

Литература

1. Гульбекян Г.Г., Мордуев А.М. ОИЯИ, Р9-80-549, Дубна, 1980.
2. Hazewindus N. et al. Nucl.Instr.Meth., 1974, 118, p.125.
3. Оганесян Ю.Ц. и др. ОИЯИ, 9-11992, Дубна, 1978.
4. Гульбекян Г.Г. и др. ОИЯИ, Р9-93-323, Дубна, 1993.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 ноября 1996 года.