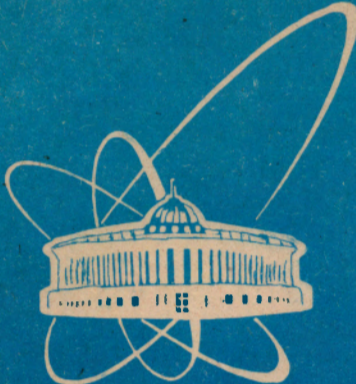


97-148



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9-97-148

Г.Г.Гульбемян, И.А.Иваненко

РАСЧЕТ ДИНАМИКИ УСКОРЕНИЯ ИОНОВ $48\text{Ca} + 6$
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ЦИКЛОТРОНА У-400
С ВНУТРЕННИМ ИСТОЧНИКОМ ТИПА PIG

1997

Введение

Известно, что центральная область циклотрона является определяющим фактором качества ускорения ионных пучков, так как именно в центре циклотрона ионы приобретают радиальные и вертикальные колебания. Данная работа была проведена с целью оценки возможностей ускорения ионов 48Ca^{6+} в центральной области циклотрона У-400 с использованием ионного источника типа PIG.

Расчет движения ионов в центре циклотрона проведен при помощи программы CENTR на основе численного интегрирования уравнений движения ионов в переменном электрическом и магнитном полях методом Рунге - Кутты 4 порядка [1]. В программе использовалась карта магнитного поля, полученная методом линейной интерполяции из измерений, проведенных в июле - августе 1978 года [2].

Электрическое поле получено на основании аналитического приближения с использованием формул [3]:

1. для ускоряющей системы источник-пуллер

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

$$\text{где } \Delta y = 0.2H + 0.8W;$$

2. для ускоряющей системы дуант-антидуант

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

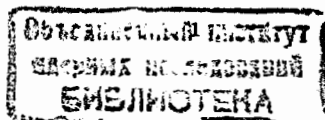
$$\text{где } \Delta y = 0.2H + 0.4W,$$

H - апертура дуантов, W - ширина ускоряющего промежутка.

Исходные данные и расчет коэффициентов захвата в ускорение

Ниже приведены исходные данные, использованные при расчетах:

Изохронное поле в центре циклотрона:	$B_0 = 2.095 \text{ T}$
Ускоряющее напряжение:	$V_D = 85 \text{ kВ}$
Номер гармоники:	$N = 2$
Ускоряемая частица:	$A/Z = 8$
Напряжение инжекции:	$V_{\text{инж}} = 1 \text{ kВ}$
Ширина щели пуллера:	$HD = 10 \text{ мм}$
Расстояние источник-пуллер:	$GD = 6 \text{ мм}$
Апертура дуантов:	$HDD = 24 \text{ мм}$
Ускоряющие промежутки:	$GDD = 25 \text{ мм}$
Угол раствора дуантов на 1 обороте:	60°
Угол раствора дуантов для остальных оборотов:	54°



Расчеты проводились для двух положений системы источник-пуллер.

В 1 варианте радиус положения центра источника 50мм при угле 71° от оси дуантов. Радиус положения центра пуллера так же 50мм.

Во 2 варианте радиус положения центра источника 50мм при угле 60° от оси дуантов. Радиус положения центра пуллера 51мм.

При расчете установлены следующие ограничения:

а) количество считааемых оборотов 5;

б) $\frac{\Delta E}{E} = 15\%$ к концу 5 оборота;

в) вертикальное движение ускоряемых частиц рассматривается в пределах апертуры дуантов. Начальные условия вертикального движения при расчете радиальных акцептансов ускорителя $Z_0 = 2\text{мм}$ и $Z^\circ = 3^\circ$;

г) радиальный и вертикальный эмиттансы пучка при выходе из источника

$$A_r = (0.5 * 360) \pi \text{ мм}^2 \cdot \text{мрад.}$$

$$A_z = (5 * 360) \pi \text{ мм}^2 \cdot \text{мрад.}$$

д) разброс центров орбит на 5 обороте от центра циклотрона не более 20мм.

Ниже приведены результаты расчетов динамики ускорения ионов 48Ca^{6+} для первого положения системы источник-пуллер.

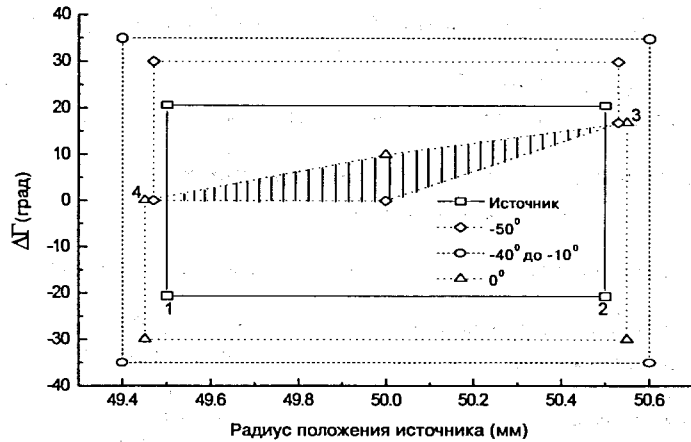


Рис. 1. Акцептансы ускорителя при соответствующих начальных фазах в сравнении с эмиттансом пучка при выходе из источника. $\Delta\Gamma$ - угол направления вектора скорости частицы при вылете из источника от перпендикуляра к радиусу-вектору источника. 1, 2, 3, 4 - точки, принятые для представления горизонтального движения (рис. 5)

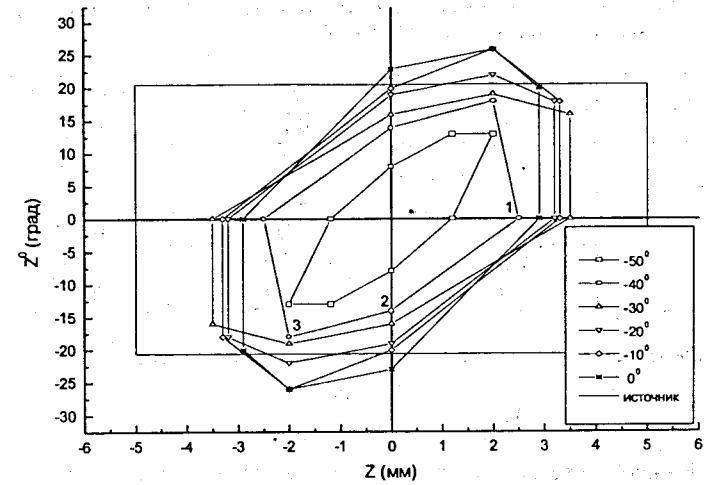


Рис. 2. Вертикальные акцептансы для диапазона начальных фаз от -50° до 0° при радиусе положения источника 50мм и $\Delta\Gamma_0 = 0^\circ$.

1, 2, 3 - точки, принятые для представления вертикального движения

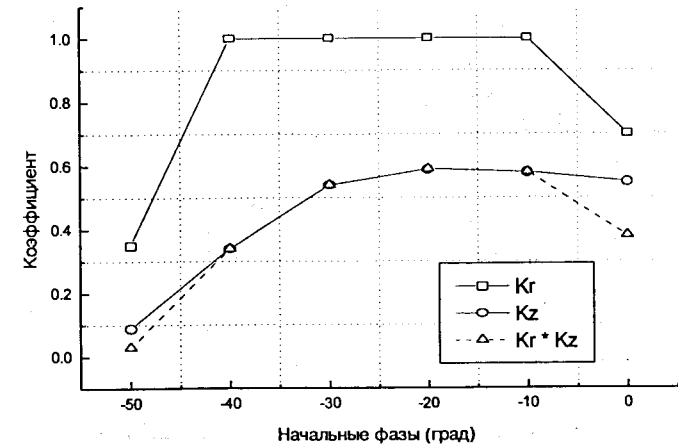


Рис. 3. Коэффициенты захвата в ускорение K_r и K_z для горизонтального и вертикального движений в диапазоне начальных фаз от -50° до 0° . Вычисляются как отношение площади пересечения акцептанса ускорителя и исходного эмиттанса пучка к площади эмиттанса пучка

Таблица 1 Коэффициенты захвата в ускорение K_r и K_z и их произведение для диапазона начальных фаз от -50° до 0°

фаза φ_0	K_r	K_z	$K_r * K_z$
-50°	0.35	0.09	0.03
-40°	1.0	0.34	0.34
-30°	1.0	0.54	0.54
-20°	1.0	0.59	0.59
-10°	1.0	0.58	0.58
0°	0.7	0.55	0.38

Коэффициент захвата в ускорение тока из источника находится как

$$K = \frac{\int K_R * K_Z * \delta\varphi}{\Delta\varphi}$$

Расчеты показали, что для полного диапазона начальных фаз $\Delta\varphi_0 = 360^\circ$ коэффициент $K = 0.06$. Для сравнения при рассматриваемом диапазоне $\Delta\varphi_0 = 50^\circ$ коэффициент $K = 0.47$.

Для представления динамики фаз произведен расчет распределения фаз после 5 оборота для радиусов положения источника 49.5мм, 50мм, 50.5мм и $\Delta\Gamma_0 = -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ$.

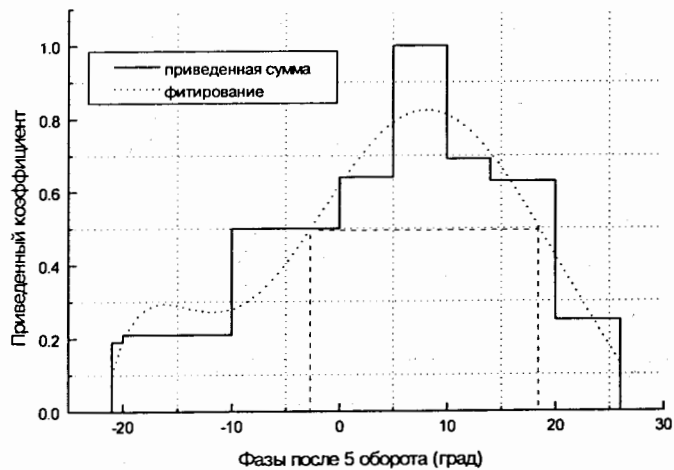


Рис. 4. Качественное распределение интенсивности тока в зависимости от фазы после 5 оборота. Диапазон фаз при приведенном коэффициенте $K_r > 0.5$ составляет от -2° до 18°

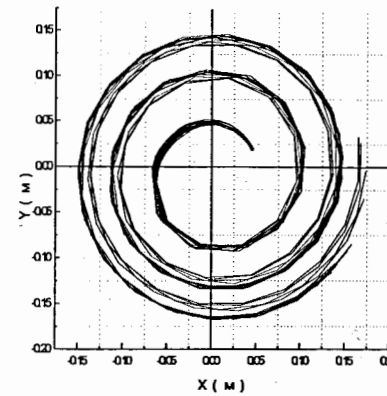


Рис. 5. Траектории движения ионов с начальными фазами $-40^\circ, -20^\circ, 0^\circ$ в точках 1, 2, 3, 4 (рис.1)

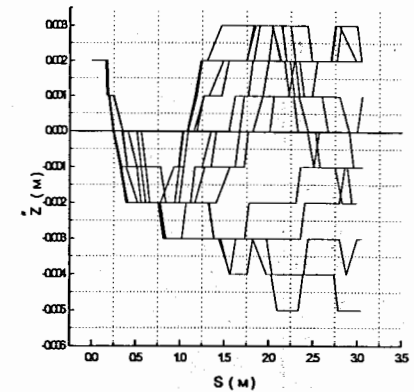


Рис. 6. Вертикальное движение ионов в точках 1, 2, 3 (рис.2)

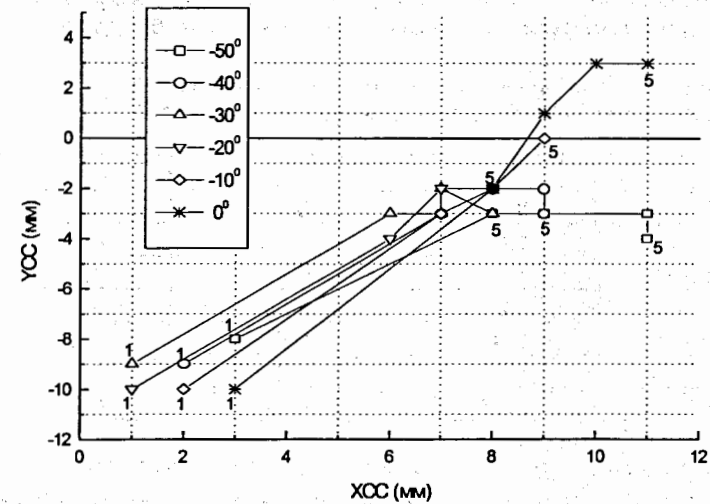


Рис. 7. Динамика центров орбит при радиусе источника 50мм и $\Delta\Gamma_0 = 0^\circ$ для диапазона начальных фаз от -50° до 0° . Цифрами обозначены номера соответствующих оборотов

Для 2 положения системы источник-пуллер радиус положения центра источника 50мм при угле 60° от оси дуантов и радиус положения центра пуллера 51мм.

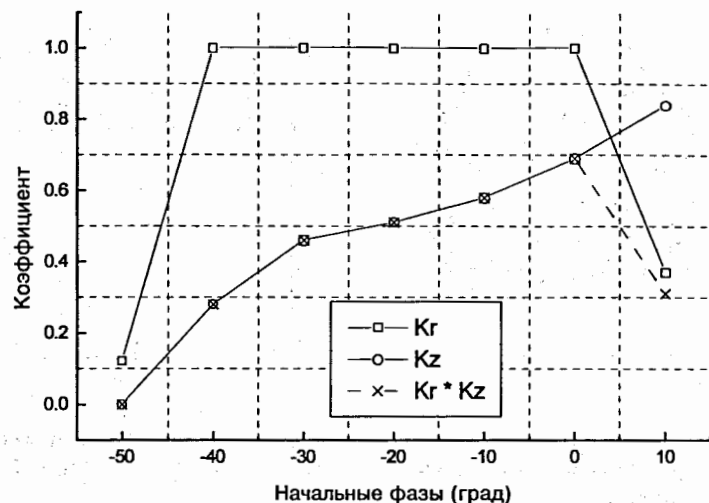


Рис. 8. Коэффициенты захвата в ускорение K_r и K_z для горизонтального и вертикального движений в диапазоне начальных фаз от -50° до 10°

Таблица 2. Коэффициенты захвата в ускорение K_r и K_z и их произведение для диапазона начальных фаз от -50° до 10°

фаза φ_0	K_r	K_z	$K_r * K_z$
-50°	0.12	0	0
-40°	1.0	0.28	0.28
-30°	1.0	0.46	0.46
-20°	1.0	0.51	0.51
-10°	1.0	0.58	0.58
0°	1.0	0.69	0.69
10°	0.37	0.84	0.31

Расчеты показали, что при диапазоне начальных фаз $\Delta\varphi_0 = 360^\circ$ коэффициент $K = 0.074$. Для сравнения при рассматриваемом диапазоне $\Delta\varphi_0 = 60^\circ$ коэффициент $K = 0.44$.

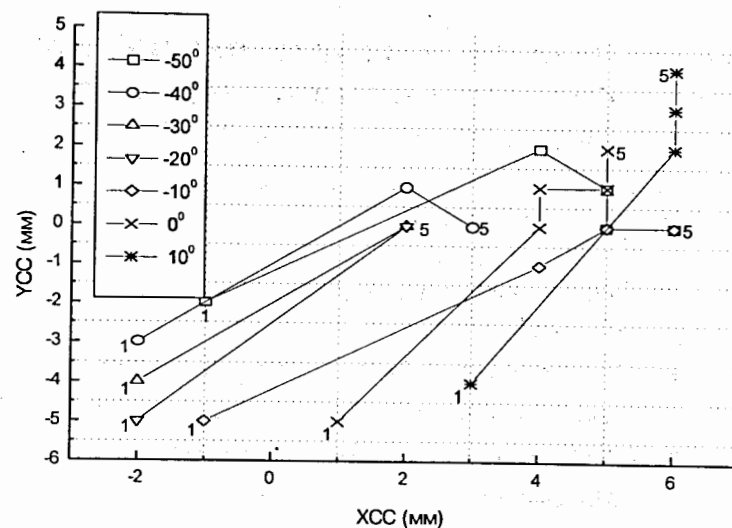


Рис. 9. Динамика центров орбит при радиусе источника 50мм, угле 60° от оси дуантов и $\Delta\Gamma_0 = -5^\circ$ для диапазона начальных фаз от -50° до 10° . Цифрами обозначены номера соответствующих оборотов

Заключение

Таким образом, при ускорении ионов 48Ca^{6+} в центральной области циклотрона У-400 существующее положение системы источник-пуллер дает коэффициент захвата в ускорение 47% при диапазоне начальных фаз от -50° до 0° . Попытка изменения положения системы источник-пуллер в сторону уменьшения угла между центром источника и осью дуантов дала коэффициент захвата в ускорение 44%, что существенно не отличается от предыдущего результата, но показала качественное улучшение динамики центров орбит.

Групповое положение центров орбит после 5 оборота для существующего положения системы источник-пуллер дает основание к необходимости использования гармонических катушек с целью смещения этой группы к центру циклотрона.

Литература

1. Гульбекян Г.Г., Мордудев А.М. ОИЯИ, Р9-80-549, Дубна, 1980.
2. Иваненко И. А. ОИЯИ, Р9-96-409, Дубна, 1996.
3. Hazewindus N. et al. Nucl.Instr.Meth., 1974,118, p.125.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 апреля 1997 года.

Гульбекян Г.Г., Иваненко И.А.

P9-97-148

Расчет динамики ускорения ионов $48\text{Ca} + 6$ в центральной области циклотрона У-400 с внутренним источником типа PIG

Представлены результаты расчетов динамики ускорения ионов $48\text{Ca} + 6$ в центральной области циклотрона У-400 с внутренним источником PIG. Определены коэффициенты захвата в ускорение для двух положений системы источник — пуллер.

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

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1997

Перевод авторов

Gulbekian G.G., Ivanenko I.A.

P9-97-148

The Calculation of the Dynamics of $48\text{Ca} + 6$ Ion Beam Acceleration in the Central Region of the U-400 Cyclotron with an Inner PIG Type Ion Source

The results of the calculation of the dynamics of $48\text{Ca} + 6$ ion beam acceleration in the central region of the U-400 cyclotron with an inner PIG type ion source are presented. The acceleration coefficients for two different positions of the ion source — puller system are calculated.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1997