

СЗУ5И

Ш-42

29/VI-70

5048

P9 - 5048

5

И.А. Шелаев, В.С. Алфеев, С.И. Козлов,
В.М. Николаев, Р.Ц. Оганесян

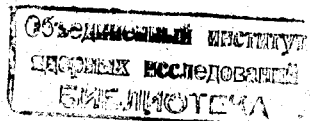
ПАРАМЕТРЫ ПУЧКОВ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ
ДВУХМЕТРОВОГО ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА
ОИЯИ

P9 - 5048

И.А. Шелаев, В.С. Алфеев, С.И. Козлов,
В.М. Николаев, Р.Ц. Оганесян

ПАРАМЕТРЫ ПУЧКОВ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ
ДВУХМЕТРОВОГО ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА
ОИЯИ

8400/2 чр



Двухметровый изохронный циклотрон ОИЯИ (У-200) представляет собой четырехсекторную машину, ускоряющую ионы с отношением $\frac{A}{Z} \geq 2,8$ на фиксированном уровне магнитного поля^{1/1}.

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты, полученные при исследовании пучков ионов в диапазоне $2,8 \leq \frac{A}{Z} \leq 4$, ускоренных на второй гармонике в.ч. потенциала с энергией на конечном радиусе от 9 до 20 Мэв/нуклон.

Все ускоренные частицы можно условно разделить на две группы:

1. Легкие ионы (D_2^{+1} , He_3^{+1} , He_4^{+1}).
2. Тяжелые ионы (C_{12}^{+3} , C_{12}^{+4} , N_{14}^{+5} , O_{16}^{+5} , Ne_{20}^{+5}).

На рис. 1 представлены зависимости интенсивностей пучка ионов от радиуса для ионов C_{12}^{+4} , O_{16}^{+5} и He_4^{+1} ($\frac{A}{Z} = 3; 3,2$ и $4,0$ - соответственно), измеренные при величине ускоряющего потенциала $U_g = 75$ кв. Все измерения проводились при значениях радиуса от $R = 10$ см до R_{max} соответствующего резкому уменьшению интенсивности пучка. Как видно из рисунка, интенсивность пучка при значениях радиуса от $R = 20$ см до $R = 88$ см меняется слабо, что свидетельствует об отсутствии потерь ионов в процессе ускорения, вызванных фазовыми сдвигами или нарушением устойчивости бетатронных колебаний.

Уменьшение интенсивности пучка в диапазоне радиусов $10 \text{ см} \leq R \leq 20 \text{ см}$ (частицы совершают ≈ 10 оборотов) объясняется потерей ионов с такими

начальными фазами, которые выбывают из процесса ускорения. Резкое уменьшение интенсивности наблюдается при $R > 88$ см, что находится в хорошем согласии с радиальными распределениями среднего магнитного поля^{2/}. В связи с тем, что циклотрон рассчитан на ускорение тяжелых частиц с массой до $A = 40$, весьма важным является вопрос потерь ионов в процессе ускорения на остаточном газе в камере. Для расчёта потерь ионов, связанных с изменением заряда при столкновении с атомами остаточного газа, использовалось выражение^{3/}

$$I/I_0 = \exp - [10^{27} p \int_0^t \sigma(\beta) \beta dt], \quad (1)$$

где I_0 и I - начальный и конечный ток ускоренных ионов соответственно, p - среднее давление в ускорительной камере, $\sigma(\beta)$ - полное сечение перезарядки, t - время ускорения иона, $\beta = v/c$.

Трудно надеяться на сколько-нибудь точное определение потерь таким образом, так как в реальных условиях многие параметры, входящие в формулу (1), неизвестны с достаточной степенью точности (распределение давления по радиусу, сечение потери электронов ионами различной массы, заряда, энергии и т.д.). При использовании выражения $I/I_0 = \exp - [10^{10} p t]$ величина потерь для ионов C_{12}^{+4} на циклотроне У-200 при давлении в камере $p = (2-3) \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст. и напряжении на дуанте $U_g = 75$ кв должна составлять $\approx 50\%$. Зависимость тока пучка ионов на конечном радиусе от давления в камере представлена на рис. 2. Из рисунка видно, что потери пучка при давлении в камере $p \leq 4 \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст. составляют не более 40%. Вместе с тем при $p > 5 \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст. наблюдается существенное уменьшение интенсивности, связанное с перезарядкой частиц на остаточном газе в камере циклотрона.

Резонансные кривые (зависимость тока пучка от величины магнитного поля) для $R = 70, 80$ и 88 см представлены на рис. 3а. Положение максимума кривых с ростом радиуса меняется слабо (изохронный режим ускорения), однако для больших радиусов требуется весьма прецизионная настройка. На рис. 3б приведена резонансная кривая ($R = 88$ см) при

одновременном ускорении ионов He_4^{+1} и C_{12}^{+3} . Видно четкое разделение кривых, что соответствует разнице в отношении $\frac{A}{z}$, равной 0,065%.

Вертикальное распределение пучка в диапазоне радиусов $10 \text{ см} \leq R \leq 88 \text{ см}$, измеренное с помощью трехламельного токового пробника, представлено на рис. 4. Ламели пробника сделаны из графита; высота центральной ламели - 4 мм, верхняя и нижняя ламели имеют высоту 13 мм. Абсолютные измерения, проведенные по наведенной β -активности на алюминиевой фольге, показали, что вертикальный размер пучка не превосходит 10 мм (минимальная апертура для пучка составляет 30 мм). Центрирование орбит определялось тремя пробниками, результаты измерений представлены на рис. 5а.

Оценка величины амплитуды некогерентных радиальных колебаний A_r , проведенная по результатам измерений "методом теней" - двумя пробниками /4/ в районе конечного радиуса, показывает, что значение A_r составляет $\approx 8 \text{ мм}$ (см. рис. 5б). Интенсивность и энергия пучков ускоренных ионов представлены в таблице. Все измерения проводились при работе циклотрона в импульсном режиме (скважность 3-8) при напряжении на дуантах $U_g = 75 \text{ кв}$ и давлении в камере $p = (2-3) \cdot 10^{-6} \text{ мм рт. ст.}$

Авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н. Флерову за постоянное внимание и интерес к работе. Мы также благодарны В.А. Акимову, В.В. Батюне и В.В. Попову за помощь в экспериментах.

Л и т е р а т у р а

1. I.A. Shelaev et al. *IEEE Transactions on Nucl. Science*, V. NS-16, No 3, 1969.
2. И.А. Шелаев и др. *Препринт ОИЯИ, P9-4233, Дубна, 1968.*
3. A. Chiorso et al. *IEEE Transactions on Nucl. Science*, NS-13, No 4, 1966.
4. A.A. Garren and L. Smith. *International Conference on Sector-Focused Cyclotron and Meson Factories, 18-23, Geneva, 1963.*

Рукопись поступила в издательский отдел

16 апреля 1970 года.

Таблица

ТИП ИОНОВ	Полная энергия ионов, в МэВ	Энергия в МэВ/нуклон	Интенсивность частиц в импульсе (мка)
дейтроны (при уск. D_2^{+1})	19,5	9,7	200
He_3^{+1}	52	17	400
He_4^{+1}	39	9,9	600
C_{12}^{+8}	118	10	30
C_{12}^{+4}	210	17,5	80
N_{14}^{+4}	180	13	80
N_{14}^{+5}	280	20	20
N_{16}^{+5}	260	17	10
O_{16}^{+5}	245	15	10
N_{20}^{+5}	195	9,7	10

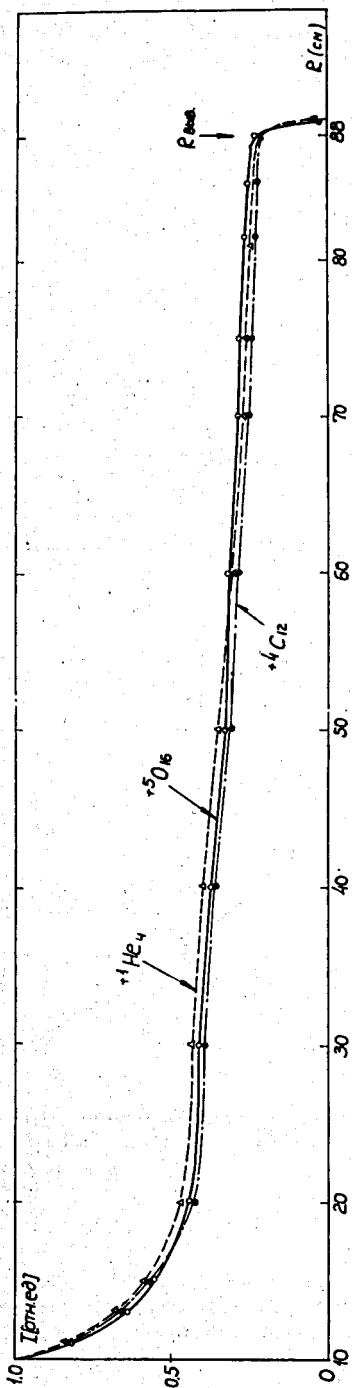


Рис. 1. Зависимость интенсивности пучков C_{12}^{+4} , O_{16}^{+5} и He_4^{+1} ($\frac{\Lambda}{z} U_z = 3,0; 3,2; 4,0$) от радиуса ускорения. Измерения проведены при $U_z = 75$ кв и давлении в камере ускорителя $P = 3 \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст.

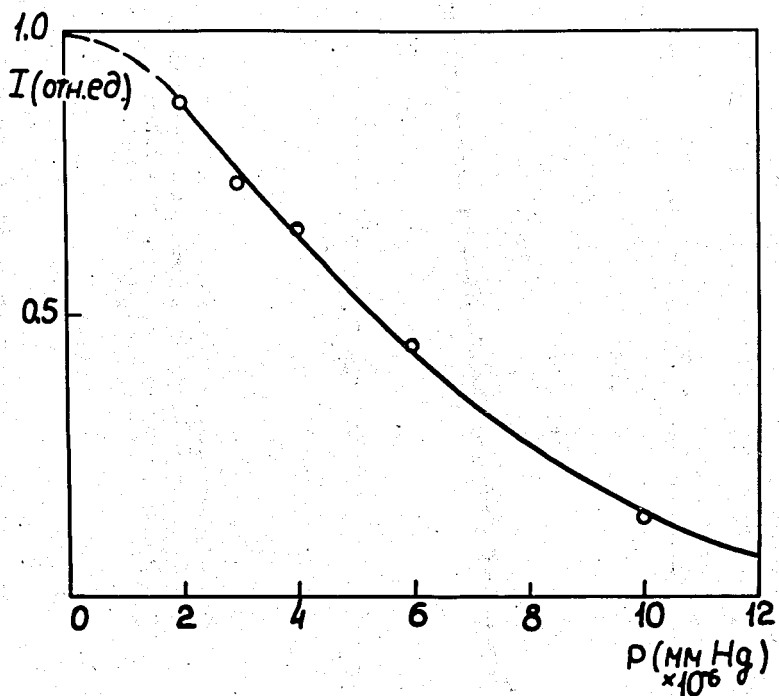


Рис. 2. Зависимость тока пучка на конечном радиусе от давления в ускорительной камере. Данные приведены для ионов C_{12}^{+3} .

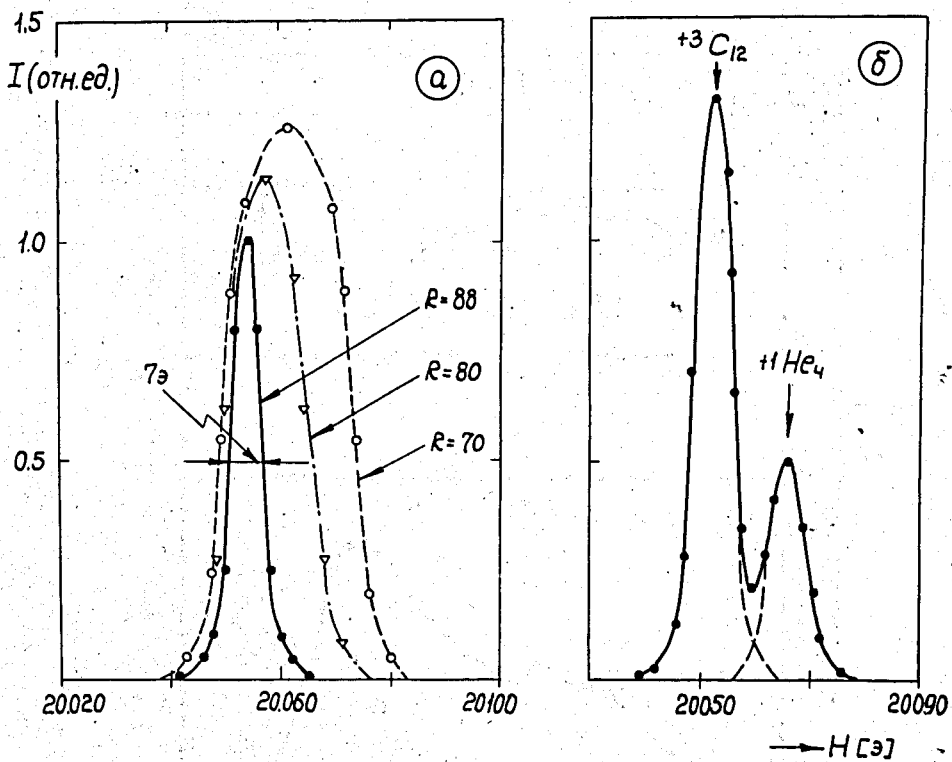


Рис. 3. а) Резонансные кривые, измеренные для пучка ионов C_{12}^{+3} на различных радиусах ускорения. б) Резонансные кривые для смешанного пучка ионов C_{12}^{+3} и He_4^{+1} , измеренные на конечном радиусе $R = 88$ см.

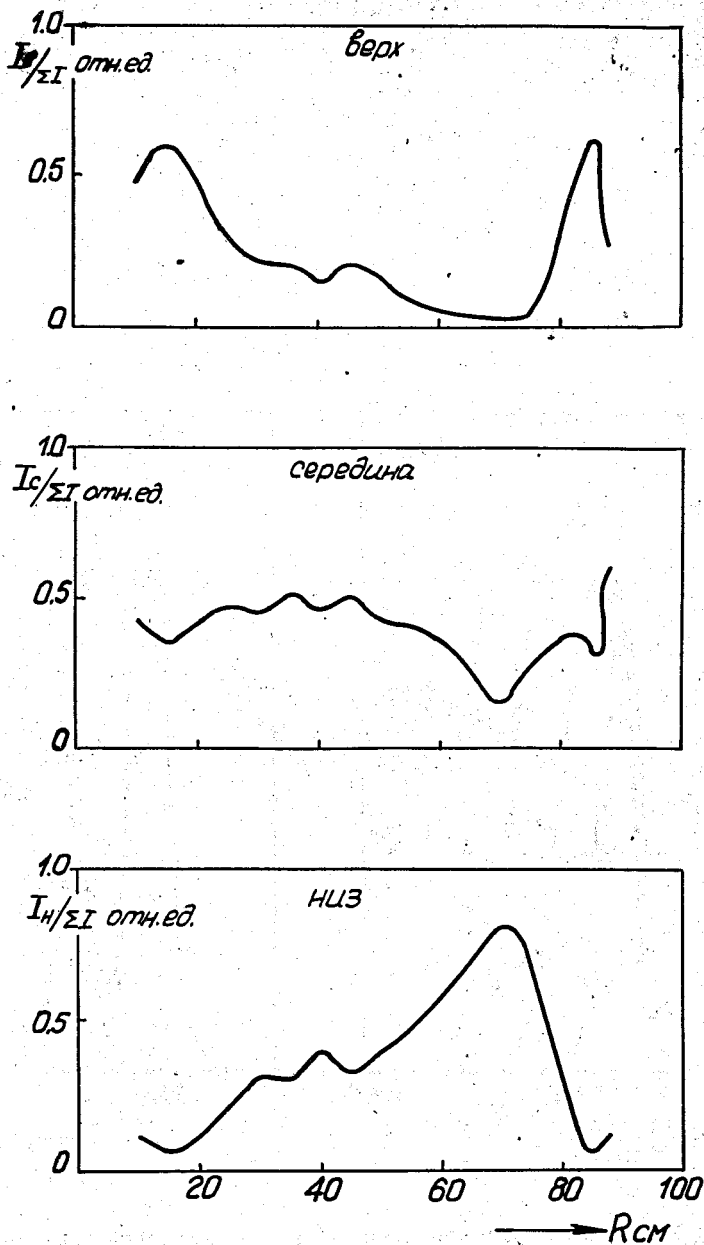


Рис. 4. Вертикальное распределение пучка ускоренных ионов C_{12}^{+3} , измеренное трехламельным пробником. Высота центральной ламели - 4 мм, верхней и нижней - 13 мм.

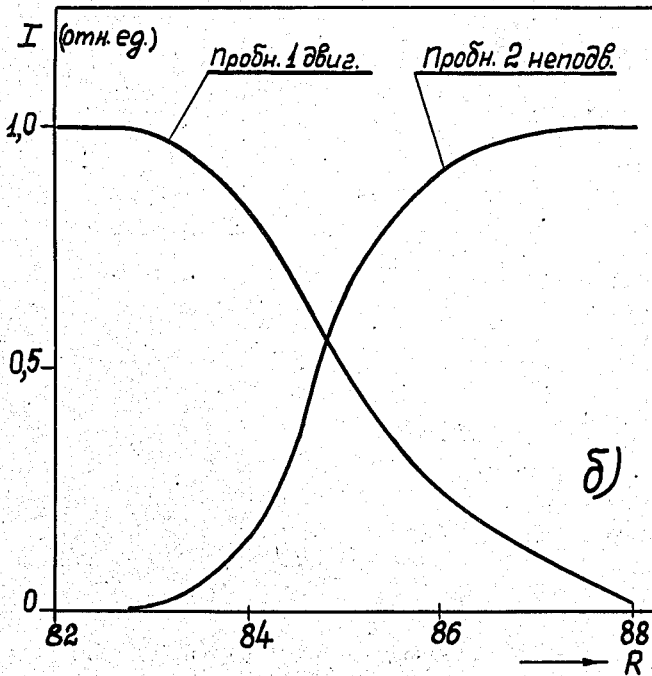
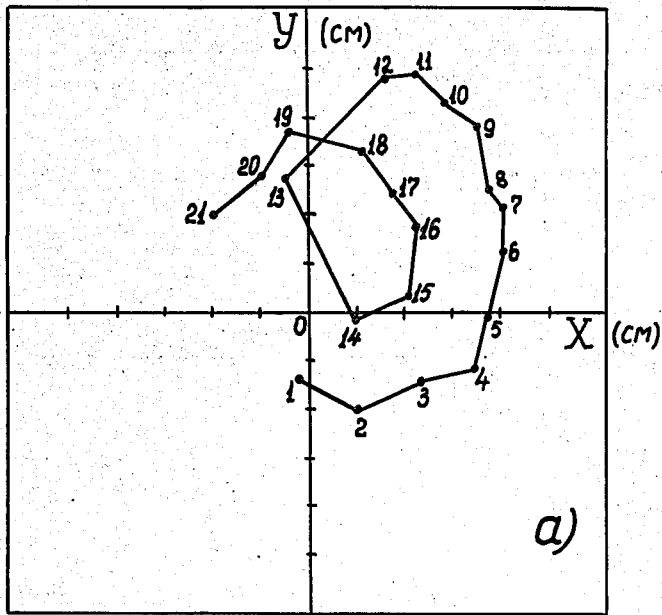


Рис. 5. Экспериментальное определение амплитуд когерентных (а) и некогерентных (б) колебаний тремя и двумя пробниками. Точки на графике а) соответствуют центрам орбит иона через 10 оборотов.