

С 345к
К-484

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



2/7-78

82/2-78

9 - 10989

Б.А.Кленин, С.И.Козлов

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ
НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕТРОВОГО
ЦИКЛОТРОНА ОИЯИ
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА
СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

1977

9 - 10989

Б.А.Кленин, С.И.Козлов

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ
НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕТРОВОГО
ЦИКЛОТРОНА ОИЯИ
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА
СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

О возможности создания на основе трехметрового циклотрона ОИЯИ изохронного циклотрона сверхтяжелых ионов.

Дается физическое обоснование возможности реконструкции трехметрового циклотрона ОИЯИ в изохронный циклотрон сверхтяжелых ионов с диаметром полюсов 560 см и конечной энергией $E_k = (2100-2300) Z^2/A$ МэВ. Циклотрон позволит ускорять ионы от Ar до U до энергий 12,0 - 7,0 МэВ/нуклон. Приведены основные параметры циклотрона.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

On a Possibility of Construction on the Basis of JINR Three Meter Cyclotron of Isochronous Superheavy Ion Cyclotron

Physical basis is presented for the possibility of construction on the basis of the U-300 cyclotron of isochronous cyclotron for acceleration of superheavy ions with the final energy $E_k = (2100-2300) Z^2/A$. The aim is reached by the introduction of: a) new cyclotron poles 560 in diameter; b) of additional magnetic circuits; c) of the gaps in magnetic circuits having magnetic field which cause the increase in acceleration radius. The cyclotron consists of a cyclotron-injector positioned between the central poles and a cyclotron with divided sectors in the gaps of magnetic circuits. The cyclotron will permit to accelerate ions from Ar to U upto 12-7 MeV/nucleon energies with the beam intensity $10^{14}-10^{11}$ i/s.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Сооружаемый в Лаборатории ядерных реакций четырехметровый изохронный циклотрон^{1/} явится многоцелевым ускорителем тяжелых ионов. Он позволит ускорять ионы в диапазоне масс $20 \leq A \leq 140$ до энергии ~ 10 МэВ/нуклон с интенсивностями пучков $10^{14} - 10^{11} \text{ с}^{-1}$.

С вводом в строй циклотрона У-400 существенно расширятся возможности исследований как в области физики тяжелых ионов, так и для решения ряда прикладных задач. Однако большой интерес к ускоренным пучкам ионов все более тяжелых элементов, обусловленный значительными успехами, достигнутыми в физике тяжелых ионов за последние 10-15 лет^{2-8/}, и в связи с постановкой ряда новых фундаментальных задач, требовал разработки и создания ускорителей тяжелых ионов вплоть до урана. Достаточно назвать такие из них, как UNILAC^{9/}, GANIL^{10/}, SUPERHILAC^{11/}. Все они используют эффект перезарядки для повышения заряда ионов в процессе ускорения.

Прямой циклотронный метод ускорения является традиционным для Лаборатории ядерных реакций. Кроме того, этот метод позволяет получать наиболее интенсивные пучки ионов по сравнению со всеми остальными методами. После запуска ускорителя У-400 появится возможность реконструкции циклотрона У-300 с целью создания машины, способной ускорять ионы вплоть до урана.

В данной работе приводится физическое обоснование возможности реконструкции циклотрона У-300 в изохронный циклотрон с диаметром полюсов 560 см (У-560). Циклотрон позволит ускорять ионы в диапазоне масс

$40 \leq A \leq 240$ до энергий 12-7,0 МэВ/нукл. Интенсивности пучков при этом составят $10^{14} - 10^{11} \text{ с}^{-1}$.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТА ЦИКЛОТРОНА У-300

Электромагнит классического циклотрона У-300 является электромагнитом Ш-образного типа, имеющим диаметр полюсов 310 см и воздушный зазор между ними 42 см. Максимальный уровень магнитного поля, создаваемый в зазоре, составляет 18,6 кЭ при токе в обмотках возбуждения ~2500 А. Отношение сечения ярма - $2S_{\text{я}}$ к сечению полюса - $S_{\text{п}}$ составляет 2,1.

Увеличение НР электромагнита достигается: 1) уменьшением среднего воздушного зазора до 200 мм; 2) установкой новых полюсных наконечников диаметром 5,6 м (1) (рис. 1); 3) введением дополнительных обмоток (2), в результате чего общее количество ампер-витков электромагнита увеличится почти вдвое и составит $\sim 2,1 \cdot 10^6$.

При этом железо ярма будет находиться в состоянии сильного насыщения ($2S_{\text{я}}/S_{\text{п}} = 0,65$), что приведет к снижению уровня магнитного поля между полюсами. Поэтому сечение ярма увеличивается за счет введения дополнительных балок и стоек (3,4), и отношение $2S_{\text{я}}/S_{\text{п}}$ становится равным 1,3. На рис. 2 представлены распределения магнитного поля по радиусу, полученные численным решением уравнений магнитостатики^{/12/} для данного электромагнита. Кривая 2 соответствует распределению магнитного поля для электромагнита с постоянным зазором 200 мм. Для уменьшения спада магнитного поля по радиусу величина зазора уменьшается от 300 мм в центре до 160 мм на конечном радиусе. Распределение магнитного поля после коррекции представлено на рис.2 (кривые 3,4).

Еще одной возможностью расширения рабочей области магнитного поля является использование магнитного потока, проходящего через стойки электромагнита, выполненные с воздушными зазорами и расположенные в одной плоскости с основным зазором. Это подтвержда-

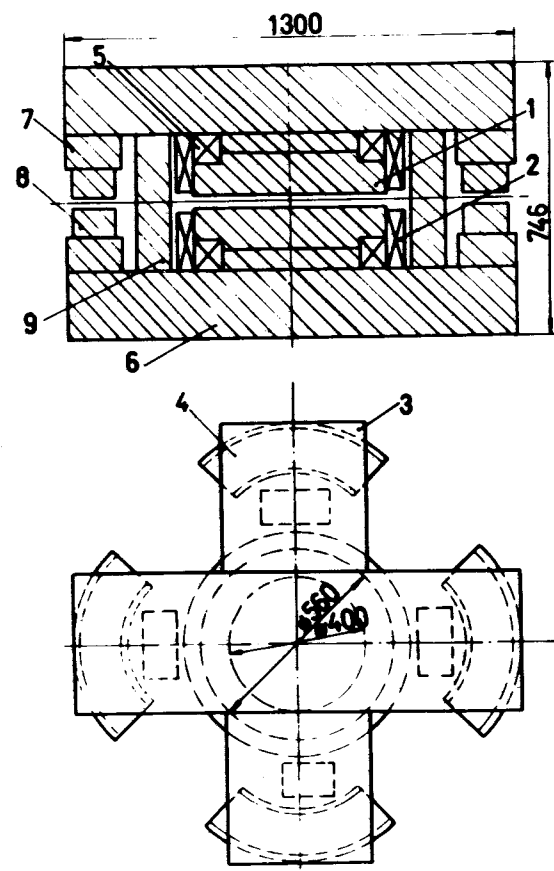


Рис. 1. Схема электромагнита циклотрона У-560 на основе электромагнита У-300: 1 - новые полюсные наконечники, 2,5 - дополнительные и существующие обмотки возбуждения, 3,6 - дополнительные и существующие балки, 4,7,8 - новые стойки, 9 - опорные стойки из немагнитного материала.

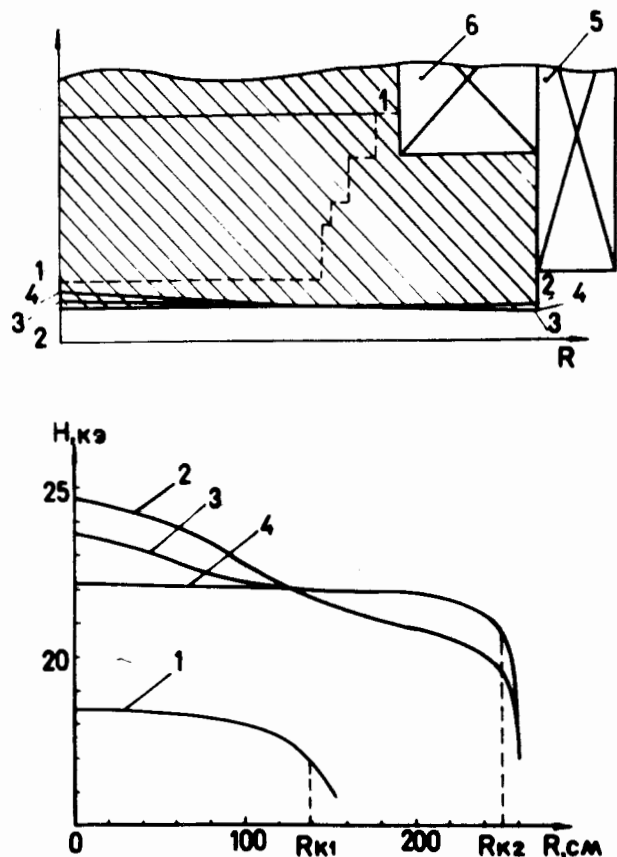


Рис. 2. Распределение магнитного поля в медианной плоскости электромагнита циклотрона У-560, 2,3,4 - для профилей полюсов 2-2, 3-3, 4-4 соответственно, 1 - для электромагнита циклотрона У-300 с профилем полюса 1-1.

ется результатами расчетов и экспериментов, проведенных на модели электромагнита циклотрона У-400^{13/}. Представленные на рис.3,4 некоторые результаты измерений магнитного поля на модели показывают, что при определенных геометрических соотношениях зазоров можно получить одинаковые уровни магнитных полей (19-20 кЭ) между центральными полюсами и полюсами в зазорах стоек.

УСКОРИТЕЛЬ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

На основе описанного выше электромагнита на рис.5 представлена схема ускорителя сверхтяжелых ионов (У-560), состоящего из циклотрона-инжектора (1) и внешнего кольцевого ускорителя - циклотрона с разделенными секторами (2). Угловые протяженности секторов (3) инжектора и кольцевого ускорителя соответственно равны 45° и 90°. Фокусировка ионов осуществляется за счет краевых магнитных полей этих секторов. Конечный радиус ускорения циклотрона-инжектора равен 250 см, а кольцевого ускорителя - 350 см. При средних магнитных полях в зазорах, равных 19-20 кЭ, максимальные конечные энергии ионов в инжекторе и кольцевом ускорителе соответственно равны $E = (1100-1200) Z^2/A$ и $E = (2100-2300) Z^2/A$.

Ускоритель работает следующим образом. Извлеченные из ионного источника инжектора ионы ускоряются до его конечного радиуса $R_k = 250$ см и выводятся электростатическим deflectором (4) из вакуумной камеры (12). Затем они поворачиваются на 180° секторным электромагнитом (7), инжектируются на равновесную орбиту циклотрона с разделенными секторами с помощью ряда дополнительных магнитов (9,10) и электростатических deflectоров (11) и ускоряются до конечного радиуса $R_k = 350$ см.

Диапазон отношений A/Z ионов, ускоряемых в системе инжектор+кольцевой ускоритель, выбирается равным 16-18. Это, например, такие ионы, как $^{136}\text{Xe}^{+8}$, $^{208}\text{Pb}^{+12}$, $^{238}\text{U}^{+13}$. Конечная энергия их составит 9-7 МэВ/нуклон. Для ускорения менее тяжелых ионов используется только

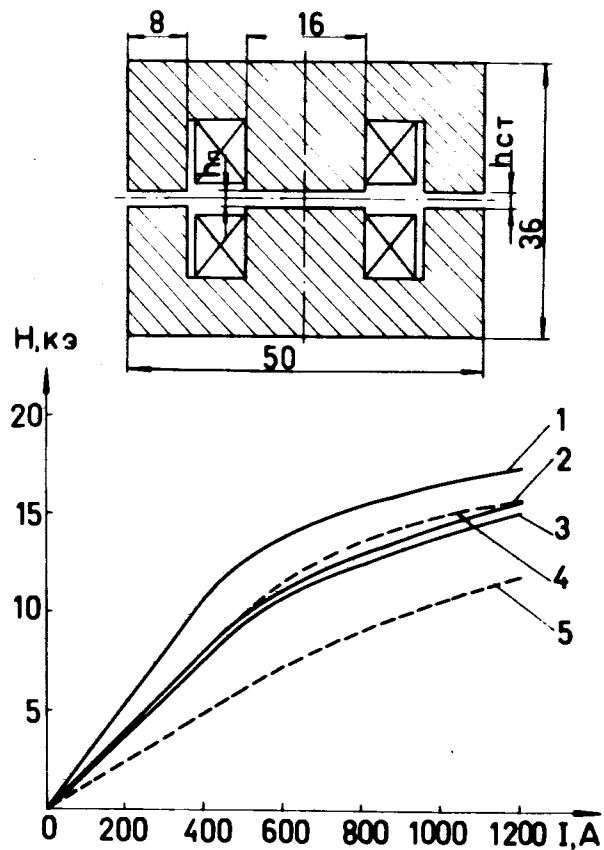


Рис. 3. Намагничивание экспериментального электромагнита между центральными полюсами (1 - $h_{\text{П}} = 8$ мм, $h_{\text{СТ}} = 0$, 2 - $h_{\text{П}} = 8$ мм, $h_{\text{СТ}} = 4$ мм; 4 - $h_{\text{П}} = 8$ мм; $h_{\text{СТ}} = 8$ мм) и полюсами в стойках 3 - $h_{\text{П}} = 8$ мм, $h_{\text{СТ}} = 4$ мм; 5 - $h_{\text{П}} = 8$ мм, $h_{\text{СТ}} = 8$ мм).

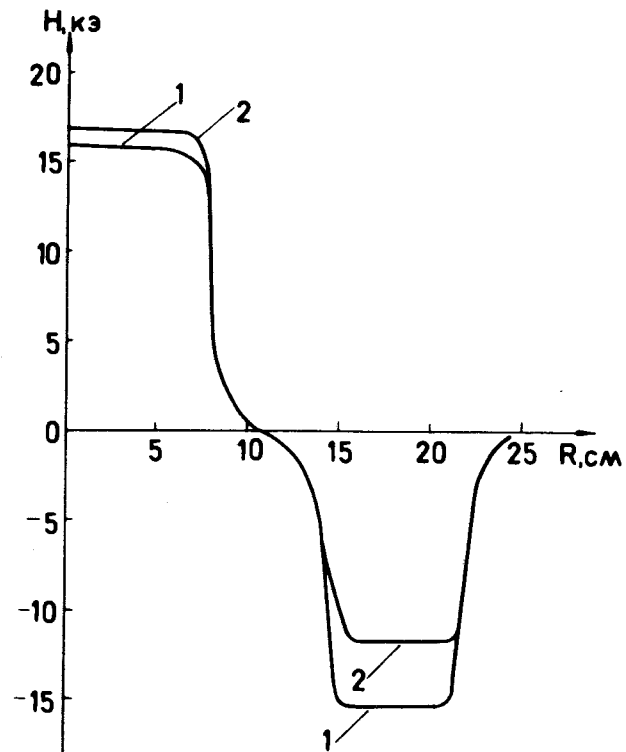


Рис. 4. Распределение магнитного поля в медианной плоскости экспериментального электромагнита: 1 - $h_{\text{П}} = 8$ мм, $h_{\text{СТ}} = 4$ мм (с явно выраженными полюсами в зазорах между стойками), 2 - $h_{\text{П}} = 5$ мм, $h_{\text{СТ}} = 5$ мм (без явно выраженных полюсов в зазорах между стойками).

циклотрон-инжектор. Диапазон отношений A/Z здесь выбирается равным 10-13. Это ионы $^{40}\text{Ar}^{+3}$, $^{48}\text{Ca}^{+4}$, $^{56}\text{Fe}^{+5}$, $^{84}\text{Kr}^{+7}$ и т.д. Их конечная энергия составит 12-7 МэВ/нуклон.

Диапазоны частот в.ч. генераторов выбраны равными 6-12 МГц для инжектора и 3-6 МГц для кольцевого ускорителя. В соответствии с частотами обращения ионов в инжекторе и кольцевом ускорителе, при выбранных диапазонах A/Z , ускорение в инжекторе будет осуществляться на 3-4 гармониках в.ч. напряжения с помощью

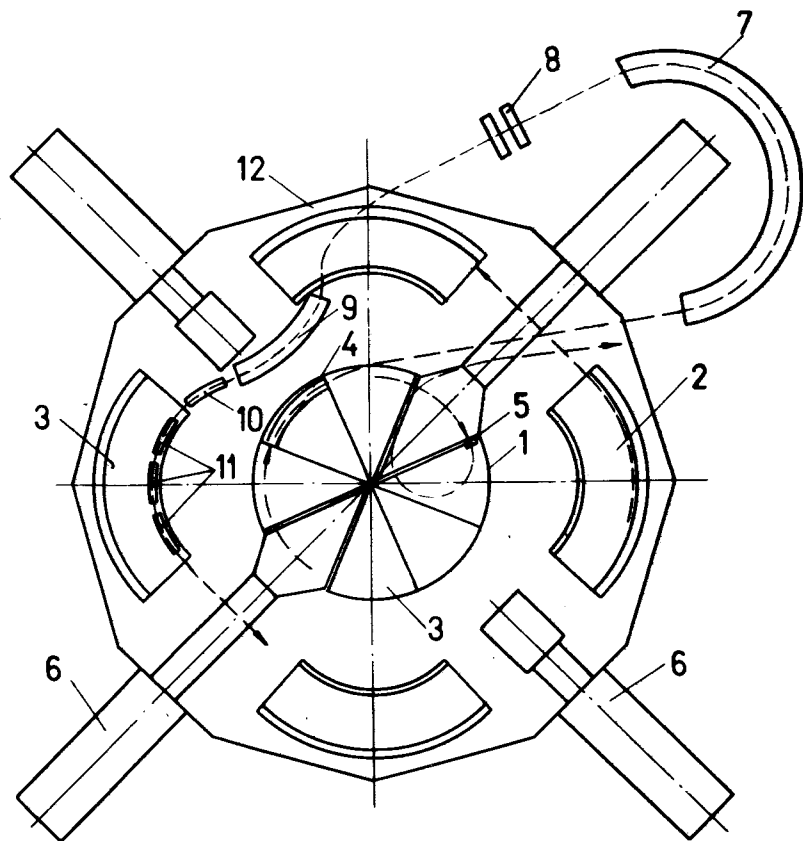


Рис. 5. Схема изохронного циклотрона У-560: 1 - циклотрон-инжектор, 2 - циклотрон с разделенными секторами, 3 - секторные накладки, 4 - электростатический дефлектор, 5 - стриппер, 6 - дуанты, 7 - поворотный секторный магнит, 8 - фокусирующие линзы, 9 - поворотный магнит, 10 - септум-магнит, 11 - электростатические инфлекторы, 12 - вакуумная камера.

двух дуантов ($V_d = 100$ кВ) угловой протяженностью 45° . В кольцевом ускорителе, имеющем свою пару дуантов ($V_d = 150$ кВ), ионы будут ускоряться на 3 гармонике.

Оценки показали, что рабочий вакуум в вакуумной камере циклотрона У-560 должен составлять $10^{-7} - 10^{-8}$ Тор. Интенсивности пучков ускоренных ионов с выбранными диапазонами отношений A/Z составят $10^{14} - 10^{11}$ с $^{-1}$. В таблице приведены основные параметры изохронного циклотрона У-560. Для сравнения даны параметры классического циклотрона У-300 с диаметром полюсов 310 см.

Таблица
Параметры циклотронов У-300 и У-560

Электромагнит	У-300	У-560
Диаметр полюсных наконечников (см)	310	560
Конечный радиус ускорения (см)	138	250 и 350
Вес электромагнита (т)	2090	4500
Средний воздушный зазор (мм)	420	200
Число витков основной обмотки возбуждения	2x224	2x484
Рабочий ток в обмотке (А)	2400-2500	2200-2300
Среднее магнитное поле (кЭ)	18,4-18,6	19-20
ВЧ - система		
Число дуантов	2	4
Напряжение на дуанте (кВ)	150	100 и 150
Диапазон частот генераторов (МГц)	3-6	3-6 и 6-12
Число генераторов	1	2
Пучки		
Полная энергия (МэВ)	$310Z^2/A$	$1100-1200Z^2/A$ и $2100-2300Z^2/A$
Энергия ионов (МэВ/нуклон)	5-10	7,0-12,0
Отношение массы к заряду (A/Z)	6-8	10-18

Авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н.Флерову за постановку задачи и постоянный интерес к работе.

Литература

1. Шелаев И.А., и др. ОИЯИ, Р9-5086, Дубна, 1970.
2. Флеров Г.Н., Звара И.И. ОИЯИ, Д7-6013, Дубна, 1974.
3. Оганесян Ю.Ц., и др. ОИЯИ, Д7-8099, Дубна, 1974.
4. Флеров Г.Н., и др. ОИЯИ, Р7-5164, Дубна, 1970.
5. Поликанов С.М. УФН, 94, № 11, 43, 1968.
6. Флеров Г.Н., и др. АЭ, 1970, 29, 2433.
7. Оганесян Ю.Ц., и др. Письма в ЖЭТФ, 1974, 20, 580.
8. Oganessian Yu. Ts. et al. Nucl. Phys. A273 (1976) 505-525.
9. UNILAC-Projektbericht Nr. 13, GSI-PB-3-74 (1974).
10. The GANIL study group 91406 Orsay, France. Proc. 7th Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications (Birkhauser, Basel, 1975), p. 111-116.
11. Main R.M. Nucl. Instr. and Meth., 97, 51 (1971).
12. Дерендяев Ю.С., Кленин Б.А. ОИЯИ, Р11-6579, Дубна, 1972.
13. Алфеев В.С., Кленин Б.А., Козлов С.И. ОИЯИ, Р9-10133, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 октября 1977 года.