

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

9-86-305

**В.В.Болтушкин, С.Л.Богомолов, Г.Г.Гульбекян,
А.И.Иваненко, А.М.Мордуев, Р.Ц.Оганесян**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ
НА ЦИКЛИЧЕСКОМ ИМПЛАНТАТОРЕ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ИЦ-100**

1986

В конце 1985 года в Лаборатории ядерных реакций завершено создание циклического имплантатора тяжелых ионов ИЦ-100.

Ускоритель создан на базе серийного электромагнита СП-57. За счет увеличения диаметра полюса с 900 до 1050 мм и повышения уровня среднего магнитного поля до 19,2 кГс обеспечен заданный энергетический фактор $K=40$, что позволяет ускорить ионы с отношением массы к заряду иона $A/Z = 5,3 \div 6,0$ до энергии $1 \div 1,25$ МэВ/нуклон.

Основные технические характеристики ИЦ-100

Вес магнита	43 т
Потребляемая мощность магнита	130 кВт
Число ампер-витков основной обмотки	170000
Номинальный ток	675 А
Стабильность тока возбуждения	$5 \cdot 10^{-4}$
Среднее магнитное поле	19,2 кГс
Количество секторов	4 /по 56° /
Зазор в долине	110 мм
Минимальный зазор в холме	20 мм
Количество дуантов	2 /по 34° /
Напряжение в дуантах	$50 \div 70$ кВ
Колебательная мощность ВЧ-генератора	25 кВт
Частотный диапазон	20,4-20,9 МГц
Номер гармоники ускоряющего напряжения	4/6/
Вакуумный объем	1,5 м ³
Скорость высоковакуумной откачки	5250 л·с ⁻¹
Предельный вакуум в камере	$7 \cdot 10^{-7}$ торр
/без ионного источника и ВЧ-напряжения на дуантах/	
Рабочий вакуум в камере	$1,5 \cdot 10^{-5}$ торр
Способ вывода пучков ионов	- электростатический дефлектор - обдирка ионов на углеродной фольге.

Магнитное поле циклотрона ИЦ-100 сформировано с высокой точностью с применением только железных масс^{1/1}, что позволило практически отказаться от системы токовой коррекции. Изохронность поля в рабочей области обеспечивает малый фазовый сдвиг в процессе ускорения, а флаттер магнитного поля /рис.1/ - жесткую магнитную фокусировку, начиная с первых оборотов $\Delta \sin \phi \leq 0,05$ и $\gamma_Z \sim 0,3 \div 0,35$ /. На рис.2 представлена кривая намагничивания магнита.

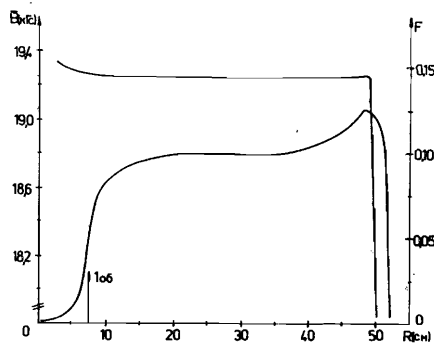


Рис.1. Радиальное распределение флаттера и среднего магнитного поля ИЦ-100.

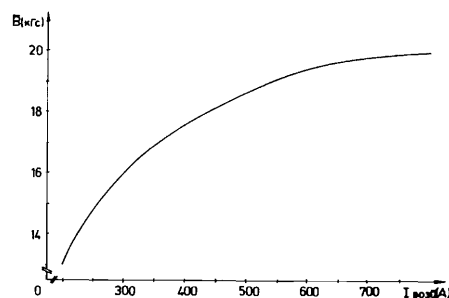


Рис.2. Кривая намагничивания электромагнита ИЦ-100.

Для получения ионов использован вертикальный ионный источник дугового типа с косвенным подогревом катода, разработанный для циклотрона У-200/2/. Источник вводится в центральную область ускорителя через аксиальное отверстие в верхней балке и полюсе магнита. Конструкцией предусмотрена шлюзовая камера, позволяющая менять источник без нарушения вакуума в камере. Время, затрачиваемое на замену источника, составляет величину $\Delta t \sim 15$ мин.

В качестве вытягивающего электрода /пуллера/ используется молибденовая линза с прямоугольным вертикальным отверстием 4×8 мм, укрепленная в передней части одного из дуантов.

Начальная юстировка источника, установка пуллера относительно эмиссионной щели источника, а также установка ускоряющих зазоров источник - пуллер и дуант - плакировка проводилась с помощью калиброванных шаблонов. Конструкцией предусмотрены механизмы юстировки дуантов и ионного источника в рабочем состоянии циклотрона без нарушения вакуума.

Резонансная система ИЦ-100 состоит из двух коаксиальных линий, укороченных емкостью дуантов, соединенных в центре, и представляет собой простой полуволновой резонатор. Его геометрические характеристики даны в работе^{/3/}.

За счет создания высокого волнового сопротивления резонансной линии достигнуто уменьшение геометрической длины резонансной линии, а также мощности, выделяющейся в плакировках резонаторов. Последнее позволило отказаться от водяного охлаждения плакировок резонаторов. Корпус резонатора выполнен из нержавеющей стали, плакированной медью. Хороший тепловой контакт медной плакировки с внутренней поверхностью резонатора достигнут применением современной технологии соединения двух разнородных металлических поверхностей - сваркой взрывом.

В качестве генератора ВЧ-напряжения использован типовой передатчик, имеющий следующие основные параметры:

Диапазон частот	$3 \div 24$ МГц
Колебательная мощность	25 кВт
Промышленный кпд	30%
Выход	- двухтактный
Охлаждение	- воздушное принудительное

С выхода генератора ВЧ мощность по двум коаксиальным фидерным линиям $/\rho = 140 \text{ Ом}/$ подается на витки связи, расположенные на одном из резонаторов. Связь с резонансной системой индуктивная, регулируемая. Для лучшего согласования, последовательно с витками связи включены емкости по 180 пФ .

Основные параметры резонансной системы

Диапазон рабочих частот	$20,4 \div 20,9$ МГц
Волновое сопротивление линии	120 Ом
Характеристическое сопротивление резонансного контура	36 Ом
Суммарная емкость дуантов	220 пФ
Добротность системы	3800
Напряжение на дуантах	$50 \div 70$ кВ
Мощность потерь резонансной системы	$10 \div 25$ кВт

Система высоковакуумной откачки ИЦ-100, имеющего вакуумный объем 1500 л, включает в себя один диффузионный вакуумный агрегат ВА-8-7 на камере циклотрона и два агрегата АВП-2, по одному на каждом из ВЧ-резонаторов. Параметры вакуумных агрегатов приведены в работе^{/3/}. Все вакуумные агрегаты снабжены системой защиты, срабатывающей при ухудшении вакуума в камере ниже $1 \cdot 10^{-4}$ торр. За счет применения ловушки типа "плакировка", расположенной в переходном патрубке агрегата ВА-8-7 и охлаждаемой фреоном до температуры $-28 \div -30^\circ\text{C}$, удалось повысить предельный вакуум насоса до $1 \cdot 10^{-7}$ торр. Суммарная быстрота действия средств откачки по азоту составляет величину $5250 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1}$.

Рабочий зазор камеры ускорителя представляет собой концентрическую щель высотой 2 см, от центра циклотрона до радиуса 50 см. Расчетная проводимость этого щелевого зазора в режиме молекулярного течения газа не превышает $450 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1}$. Газовая нагрузка в режиме откачки объема /без подачи рабочего газа в источник ионов/ составляет величину $Q = 2 \cdot 10^{-4} \text{ л} \cdot \text{торр} \cdot \text{с}^{-1}$.

Время откачки циклотрона ИЦ-100 от атмосферного давления до $P = 1 \cdot 10^{-5}$ торр не превышает 45 минут. Основная газовая нагрузка на вакуумную систему ускорителя создается потоком газа из источника и составляет величину от 1 до $3 \text{ см}^3 \cdot \text{мин}^{-1}$. Рабочий вакуум в режиме ускорения находится в пределах $P = 5 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-5}$ торр.

В результате пусконаладочных работ на ускорителе ИЦ-100 получены и ускорены ионы газообразных элементов $^{12}\text{C}^{+2}$, $^{16}\text{O}^{+3}$, $^{22}\text{Ne}^{+4}$, $^{35}\text{Cl}^{+4}$ /6-я гармоника/, $^{40}\text{Ar}^{+7}$ с интенсивностями от $7 \cdot 10^{13}$ до $1 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$. Разработанная модификация ионного источника с распылением твердого рабочего вещества позволила получить ионы $^{23}\text{Na}^{+4}$ и $^{35}\text{Cl}^{+4}$ из кристалла NaCl и ускорить их до конечного радиуса.

Некоторые параметры пучков ионов, ускоренных на циклотроне ИЦ-100, приведены в табл.1, где A – масса иона, Z – заряд иона, f – рабочая частота ВЧ-генератора, B – уровень среднего магнитного поля, N – номер гармоники ускоряющего напряжения, E – полная энергия иона на конечном радиусе ускорения R = 46 см, $I_{\text{ВН}}$ – интенсивность пучка на конечном радиусе.

Таблица 1

Ион	A/Z	B/кэВ	f/МГц	N	E/МэВ	E/A/МэВ/у.и.	$I_{\text{ВН}}/\text{с}^{-1}$	Рабочее вещество
$^{12}\text{C}^{+2}$	6,00	20,10	20,43	4	13,4	1,1	$7,5 \cdot 10^{13}$	CO_2
$^{16}\text{O}^{+3}$	5,33	18,30	20,93	4	19,5	1,2	$12 \cdot 10^{13}$	CO_2
$^{22}\text{Ne}^{+4}$	5,50	18,87	20,93	4	26,9	1,2	$2,7 \cdot 10^{12}$	Ne ест.
$^{23}\text{Na}^{+4}$	5,75	19,26	20,43	4	28,6	1,2	$1,0 \cdot 10^{11}$	NaCl
$^{35}\text{Cl}^{+4}$	8,75	19,54	20,43	6	17,8	0,5	$4,0 \cdot 10^{11}$	CCl_4 , NaCl
$^{40}\text{Ar}^{+7}$	5,71	19,13	20,43	4	46,3	1,1	$1,1 \cdot 10^{12}$	Ar ест.



Рис.3. Автограф пучка $^{40}\text{Ar}^{+7}$ на разных радиусах ускорения.

На рис.3 представлен автограф пучка на нескольких радиусах ускорения. Во всей области ускорения пучок лежит в медианной плоскости и имеет вертикальный размер, не превышающий половины рабочей апертуры циклотрона. Радиальный размер пучка на конечных радиусах составляет величину $\Delta r \sim 5 \div 7 \text{ мм}$.

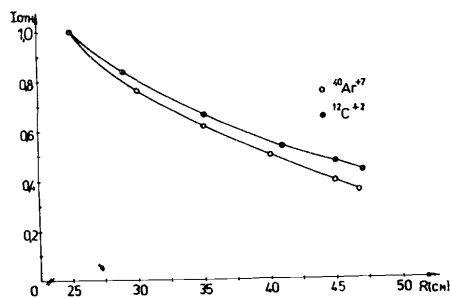


Рис.4. Зависимость относительной интенсивности пучков ионов $^{40}\text{Ar}^{+7}$ и $^{12}\text{C}^{+2}$ от радиуса.

Так как магнитное поле имплантатора близко к изохронному, то потери интенсивности по радиусу /рис.4/ в основном определяются перезарядкой ионов на остаточном газе камеры ускорителя.

На рис. 5 показана зависимость относительной интенсивности пучка $^{40}\text{Ar}^{+7}$ от давления в камере циклотрона. Из рисунка видно,

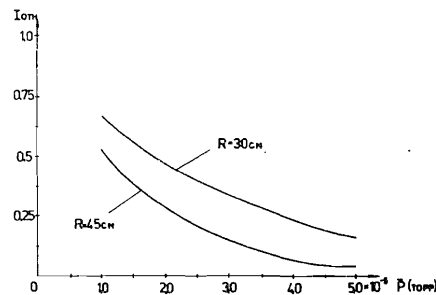


Рис.5. Зависимость интенсивности пучка ионов $^{40}\text{Ar}^{+7}$ от среднего давления в камере циклотрона.

что для 50%-го прохождения пучка до конечного радиуса необходимое давление остаточного газа должно быть не хуже $1 \cdot 10^{-5}$ торр.

Из резонансной кривой, снятой на конечном радиусе ускорения R = 46 см для пучка $^{40}\text{Ar}^{+7}$

/рис.6/, следует, что для поддержания 10% разброса интенсивности пучка необходимо обеспечить стабильность тока возбуждения магнита не хуже $1 \cdot 10^{-3}$, что обеспечивается существующей системой стабилизации.

Зависимость интенсивности пучка от величины ускоряющего напряжения на дуантах /рис.7/ свидетельствует об уменьшении потерь ионов на остаточном газе с увеличением темпа ускорения. Напряжение "нулевой интенсивности" соответствует величине, при которой ионы не обходят ионный источник.

Отличительные особенности циклотрона ИЦ-100:

- малый зазор в холме /20 мм/ и, как следствие, высокий уровень среднего магнитного поля /19±20 кГс/;

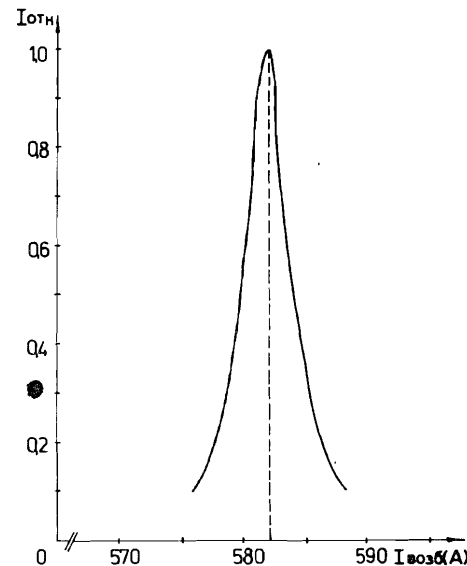
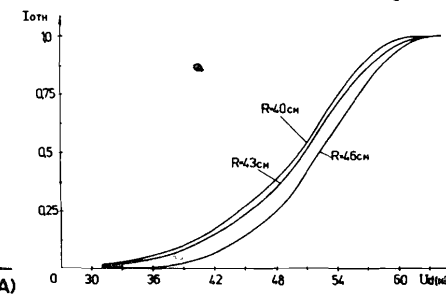


Рис.6. Резонансная кривая для ионов $^{40}\text{Ar}^{+7}$, снятая на конечном радиусе ускорения R = 46 см.

Рис.7. Зависимость относительной интенсивности пучка ионов $^{22}\text{Ne}^{+4}$ от напряжения на дуантах для нескольких радиусов ускорения.



- формирование магнитного поля, обеспечивающего устойчивое и изохронное ускорение ионов до конечной энергии, проведено только с помощью железных масс, без применения корректирующих токовых катушек.
- вывод пучка из циклотрона реализован двумя способами: обдиркой ионов на углеродной фольге и с помощью электростатического deflectора;
- отсутствие радиоактивного излучения при работе имплантатора позволило разместить его в помещении без биологической защиты, а пульт управления разместить в зале самого ускорителя.

Авторы выражают благодарность академику Г.Н.Флерову за постоянное внимание и поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриянов А.М. и др. ОИЯИ, 9-85-598, Дубна, 1985.
2. Гикал Б.Н. и др. ОИЯИ, 9-83-311, Дубна, 1983.
3. Андриянов А.М. и др. ОИЯИ, 9-85-532, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 мая 1986 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.	4 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Болтушкин В.В. и др. 9-86-305
Результаты пусконаладочных работ на циклическом имплантаторе тяжелых ионов ИЦ-100

На циклическом имплантаторе ИЦ-100 завершены пусконаладочные работы. Получены пучки ускоренных ионов ряда элементов от $^{12}\text{C}^{+2}$ до $^{40}\text{Ar}^{+7}$ с энергией ~ 1 МэВ/нуклон и интенсивностями $7,5 \cdot 10^{13} \div 1 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$. Магнитное поле циклотрона сформировано только с помощью железных масс, без применения токовой коррекции. На циклотроне применен вертикальный источник дугового типа с косвенным подогревом катода. В качестве источника ВЧ-напряжения использован двухтактный ВЧ-генератор мощностью 25 кВт. Дано описание резонансной и вакуумной систем; приведены основные параметры пучков ускоренных ионов, а также зависимости интенсивности пучков от изменения основных параметров циклотрона.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Boltushkin V.V. et al. 9-86-305
About the Results on Start-Up Jobs on the IC-100 Heavy Ion Cyclic Implantator

The creation of IC-100 cyclic implantator has been completed. The ion beams from $^{12}\text{C}^{+2}$ upto $^{40}\text{Ar}^{+7}$ have been accelerated with 1 MeV/nucleon energy and $7.5 \cdot 10^{13} \div 1 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1}$ intensities. The cyclotron magnetic field has been formed with a high accuracy by means of iron masses only without current correction. The axial penning ion source was used on the cyclotron. The RF generator of 25 kW power was used as a RF voltage source. The main characteristics of the resonance system, vacuum system and main parameters of the cyclotron and ion beams are presented, as well as the dependences of the beams on changing the cyclotron main parameters.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986