

Ш-42

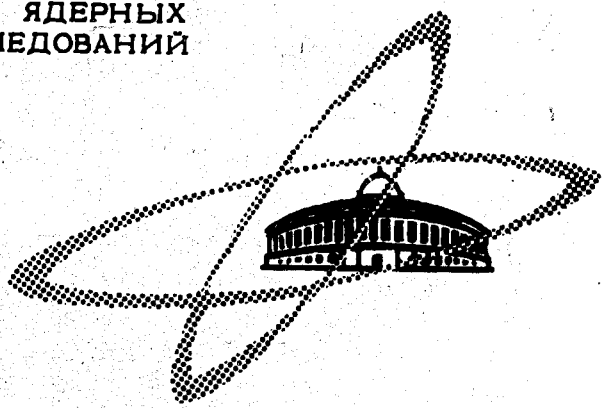
S

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

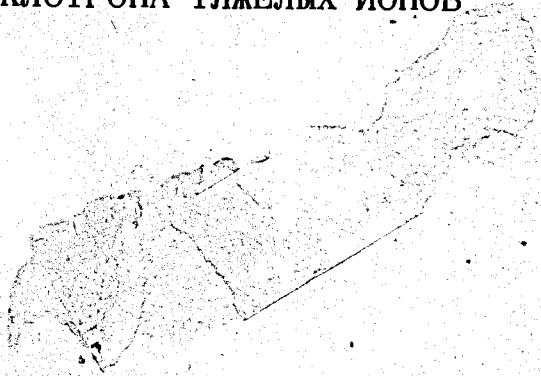
4831

P9 - 4831



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

ВЫВОД ПУЧКА МЕТОДОМ ПЕРЕЗАРЯДКИ
ИЗ ДВУХМЕТРОВОГО ИЗОХРОННОГО
ЦИКЛОТРОНА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ



Р9 - 4831

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

**ВЫВОД ПУЧКА МЕТОДОМ ПЕРЕЗАРЯДКИ
ИЗ ДВУХМЕТРОВОГО ИЗОХРОННОГО
ЦИКЛОТРОНА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ**

Направлено в ПТЭ

2154 / 2 р7.

В в е д е н и е

Двухметровый изохронный циклотрон ОИЯИ (У-200) представляет собой четырехсекторную машину, предназначенную для ускорения тяжелых ионов с отношением $\frac{A}{Z} \geq 2,8$, на фиксированном уровне магнитного поля ^{/1/}. Основные параметры циклотрона следующие:

Диаметр полюсного наконечника	- 200 см
Конечный радиус ускорения	- 90 см
Среднее значение магнитного поля в (в центре)	- 20 кэ
Максимальный воздушный зазор (в долине)	- 15,0 см
Минимальный воздушный зазор (между секторами)	- 3,0 см
Диапазон частот в.ч. генератора	- (14,0-21,4) мгц
Количество дуантов 45° угловой протяженности	- 2
Напряжение на дуанте	- 75 кв
Диапазон ускоряемых ионов	- $2,8 \leq \frac{A}{Z} \leq 4$
Энергия ускоряемых ионов	- (9-20) мэв/нукл.

В настоящей работе описываются экспериментальные результаты по выводу пучка из циклотрона У-200 методом перезарядки, впервые предложенным в Лаборатории ядерных реакций Г.Н. Флеровым, Ю.Ц. Оганесяном, Г.Н. Вяловым в 1964 году ^{/2/}.

1. Описание способа вывода

Существо метода легко понять из рис. 1. Тяжелый ион с зарядом Z_0 , ускоренный до радиуса вывода r_0 , попадает на перезарядное устройство и увеличивает заряд до величины Z_1 . В результате этого кривизна траектории иона увеличивается, и радиальное движение оказывается неустойчивым, благодаря чему такой ион попадает в область спадающего магнитного поля и выходит из камеры ускорителя.

Для упрощения расчетов положим магнитное поле в холме и долине однородным, т.е.

$$\begin{aligned} \text{поле в холме} \quad H_x &= H_0(1 + \delta), \\ \text{поле в долине} \quad H_g &= H_0(1 - \delta), \end{aligned} \quad (1)$$

где δ - глубина модуляции; в случае У-200 $\delta = 0,25$. Тогда траектория иона в холме и долине представляет собой отрезки окружности соответствующего радиуса. Если ξ_0 - угловая протяженность долины, а η_0 - холма, то на равновесной орбите радиусы кривизны траектории в холме и долине определяются выражением [3]:

$$\begin{aligned} r_x &= r_0 \frac{\sin \frac{\eta_0}{2}}{\sin \frac{\eta}{2}}, \\ r_g &= r_0 \frac{\sin \frac{\xi_0}{2}}{\sin \frac{\xi}{2}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь

$$\xi_0 + \eta_0 = \xi + \eta = \frac{2\pi}{N}$$

и

$$\operatorname{ctg} \frac{\eta}{2} = \operatorname{ctg} \frac{\pi}{N} + \frac{H_g}{H_x} \left(\operatorname{ctg} \frac{\eta_0}{2} - \operatorname{ctg} \frac{\pi}{N} \right), \quad (3)$$

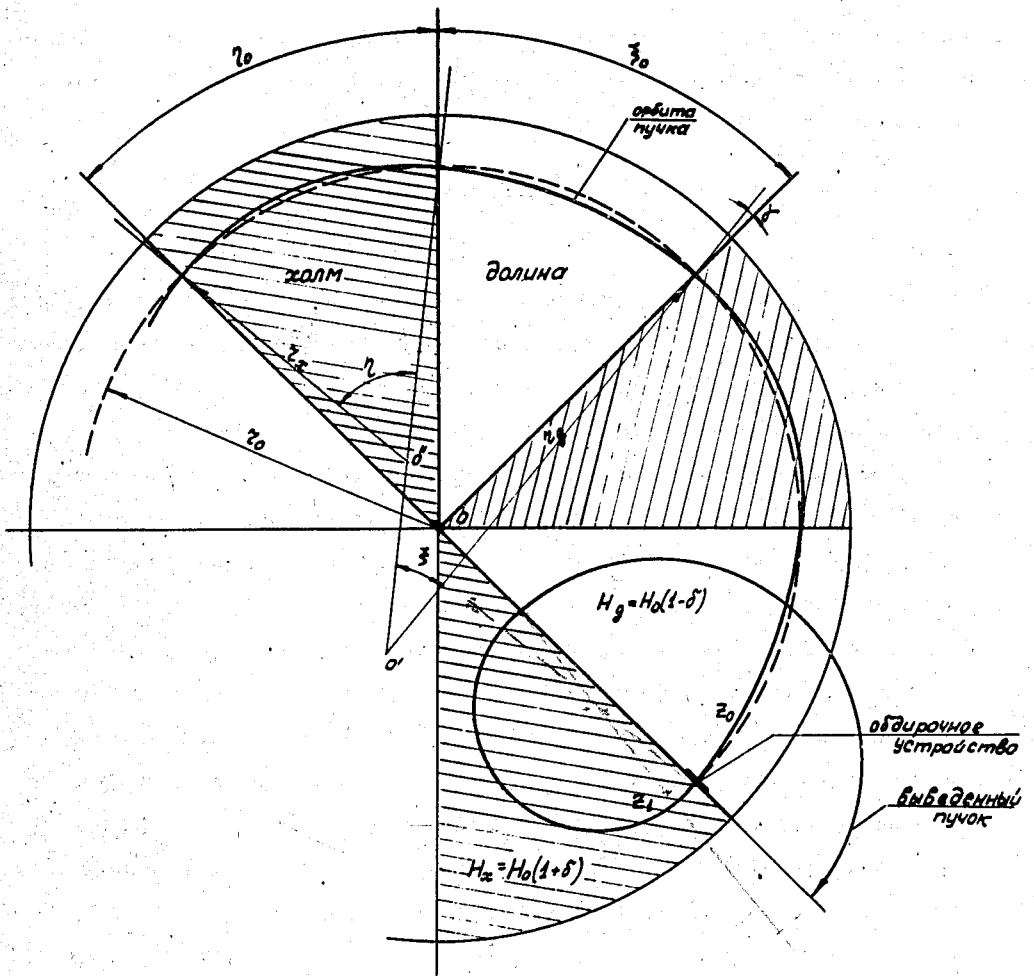


Рис.1. Схема вывода ионов из радиально-секторного циклотрона с помощью дополнительной обдирки.

N - число секторов. После перезарядки r_x и r_g следует умножить на $\frac{Z_0}{Z_1}$. Вычислив радиусы кривизны, графическим методом нетрудно получить $\frac{\Delta r}{r_0}$ при различных $\frac{Z_0}{Z_1}$. Если же траектория иона целиком лежит в пределах одного элемента периодичности и перезарядное устройство расположено на границе холм-долина, то $\frac{\Delta r}{r_0}$ можно вычислить по формуле

$$\Delta r = 2 \frac{Z_0}{Z_1} (r_g - r_x) \cos \gamma, \quad (4)$$

где $\cos \gamma \approx 1$, т.к. γ - угол между радиусом и нормалью к траектории - при модуляции $\delta = 0,25$ порядка 5° . Формула (4) не учитывает спада магнитного поля за конечным радиусом, благодаря которому прирост радиуса за оборот оказывается еще выше.

При выводе пучка на У-200 траектория ионов после перезарядки определялась графическим методом. В результате расчетов требовалось найти такое азимутальное положение перезарядного устройства, при котором траектория выведенного пучка совпадала бы с осью ионпровода. В расчете использовалась карта магнитного поля (кривые $H(r, \theta) = \text{const}$), составленная по результатам магнитных измерений. Графический метод расчета обладает ограниченной точностью, поэтому расчетное положение перезарядного устройства на опыте потребовалось скорректировать. Отличие расчетного азимута перезарядного устройства от экспериментального составило $\approx 1^\circ,5$. Траектория иона и положение перезарядного устройства схематически представлены на рис. 2.

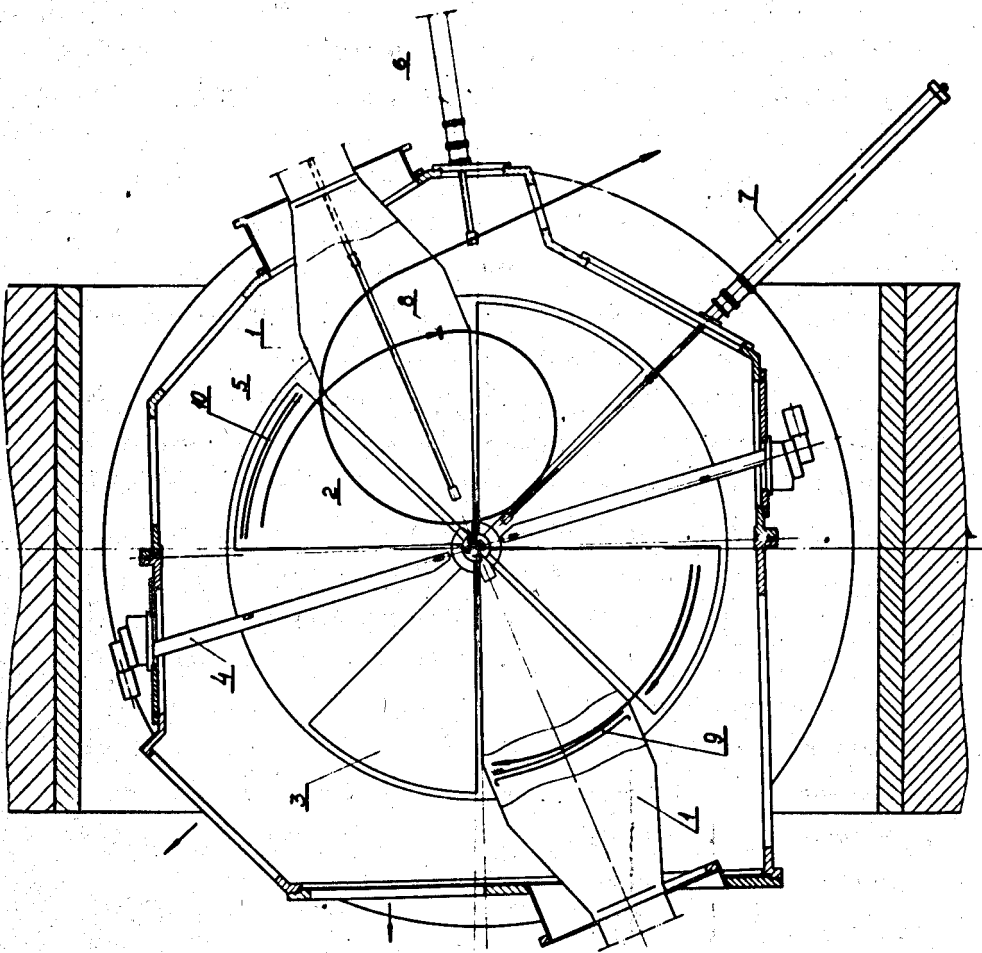


Рис.2. Вид циклотрона в плане. 1 - дуанты, 2 - ионный источник, 3 - сектора, 4,5,6,7 - токовые пробники, 8 - обдирочное устройство, 9 - электростатический дефлектор, 10 - магнитный канал.

2. Экспериментальные результаты

В качестве перезарядного устройства для вывода используются алюминиевые фольги толщиной 0,5 мк. Фольга приклеена к латунной рамке, которая винтами крепится на плакировке дуанта. Поскольку охлаждение фольги происходит в этом случае только благодаря теплоизлучению, то для улучшения последнего на фольгу нанесен тонкий слой углерода. Графитизированная фольга работает без разрушения в течение 100 часов и более, если средний ток выведенного пучка не превышает 25-30 мка на дейтонах и 3-4 мка - на углероде. Эффективность вывода для этих ионов составляет 95-100%.

Положение и форма выведенного пучка определялись как визуально с помощью телевизионной установки ПТУ-2 по свечению кварцевой пластины, на которую падает выведенный пучок, так и по измерению

β -активности облученных алюминиевых фольг. Вертикальное и горизонтальное распределения выведенного пучка ионов D^{+1} ($D_2^{+1} \rightarrow 2D^{+1}$) представлены на рис. 3. Аналогичная картина получена и для ионов C_{12}^{+6} ($C_{12}^{+3} \rightarrow C_{12}^{+6}$). Измерения производились вблизи выпускного окна.

Наиболее успешно вывод с перезарядкой используется при работе с дейтонами и α -частицами, т.к. при этом легко получают интенсивные внешние пучки. Кроме того, высокая эффективность вывода позволяет устранить активацию дефлектора, которая была бы очень большой при работе на легких частицах (D, He).

3. Заключение

Вывод тяжелых ионов с перезарядкой обладает рядом преимуществ по сравнению с электростатическим.

1. Простота конструкции выводного устройства и настройки - выведенный пучок получается тотчас же, как только получен пучок на конечном радиусе.

2. Практически 100% коэффициент вывода достигается для всех ионов, если энергия иона достаточно велика (8-10 Мэв/нуклон).

3. Имеется возможность выводить ионы с регулируемой энергией без перестройки магнитного поля и в.ч. системы путем изменения радиального положения выводного устройства. При этом выведенный пучок попадает в тот же ионопровод, если изменить соответственно и азимутальный угол выводного устройства. К сожалению, при размещении перезарядного устройства в дуанте разместить там же устройство для дистанционного изменения и контроля положения обдирающей фольги на циклотроне У-200 не удалось, и это преимущество метода пока не реализовано.

Данному методу присущи и некоторые недостатки. Помимо ограничений интенсивности выведенного пучка, связанного с разрушением перезарядного устройства, что характерно для всех ускорителей с перезарядкой, этим методом можно вывести ионы с ограниченным диапазоном $\frac{Z_0}{Z_1}$. На рис. 4 проведены кривые $\frac{\Delta r}{r_0}$ в зависимости от $\frac{Z_0}{Z_1}$ для циклотрона с различным числом секторов. Кривые получены в предположении однородности поля в холме и долине при вариации $\delta = 0,25$, и $\frac{\xi_0}{\eta_0} = 1,12$. Перезарядное устройство располагалось во всех случаях на границе холм-долина.

Видно, что прирост радиуса за оборот растет линейно с $\frac{Z_0}{Z_1}$ до тех пор, пока $\frac{Z_0}{Z_1}$ меньше некоторого критического значения, а затем резко уменьшается. Критическое значение $\frac{Z_0}{Z_1}$ соответствует случаю, когда траектория иона после перезарядки выходит за пределы

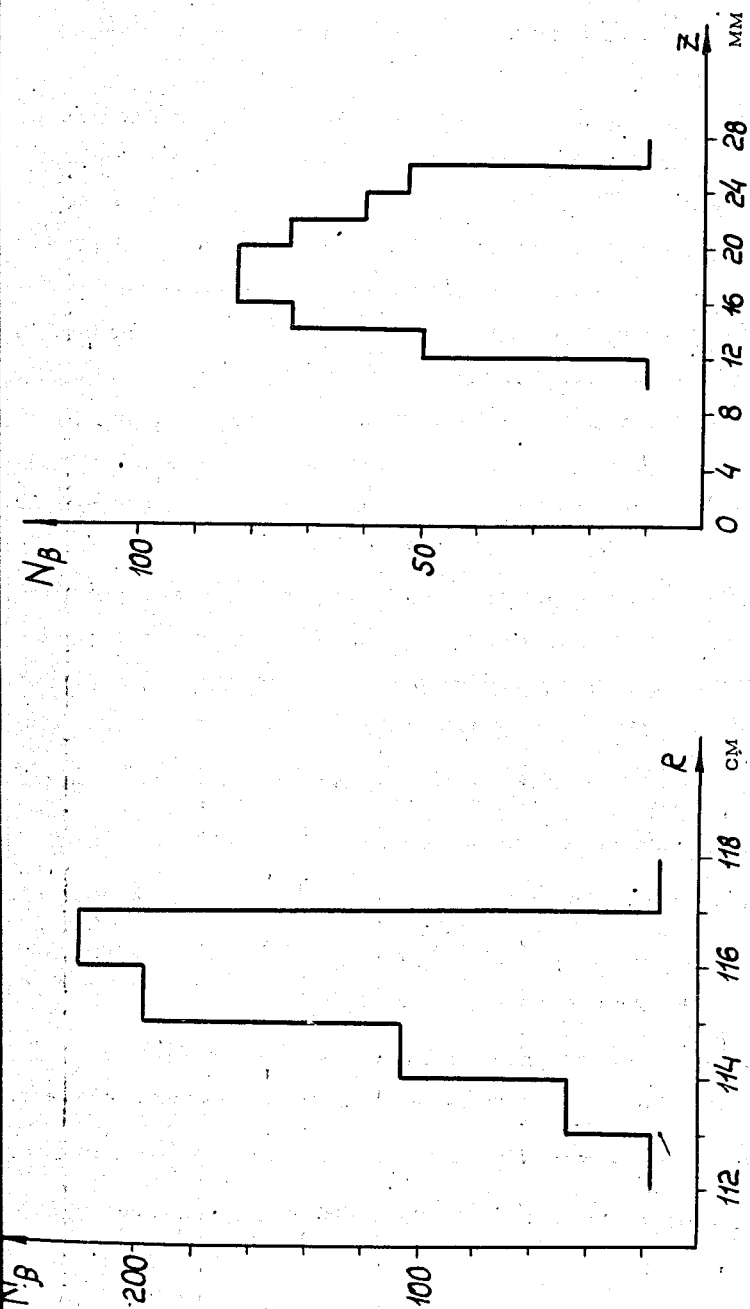


Рис.3. Радиальное и вертикальное распределения выведенного пучка ионов D^{+1} .

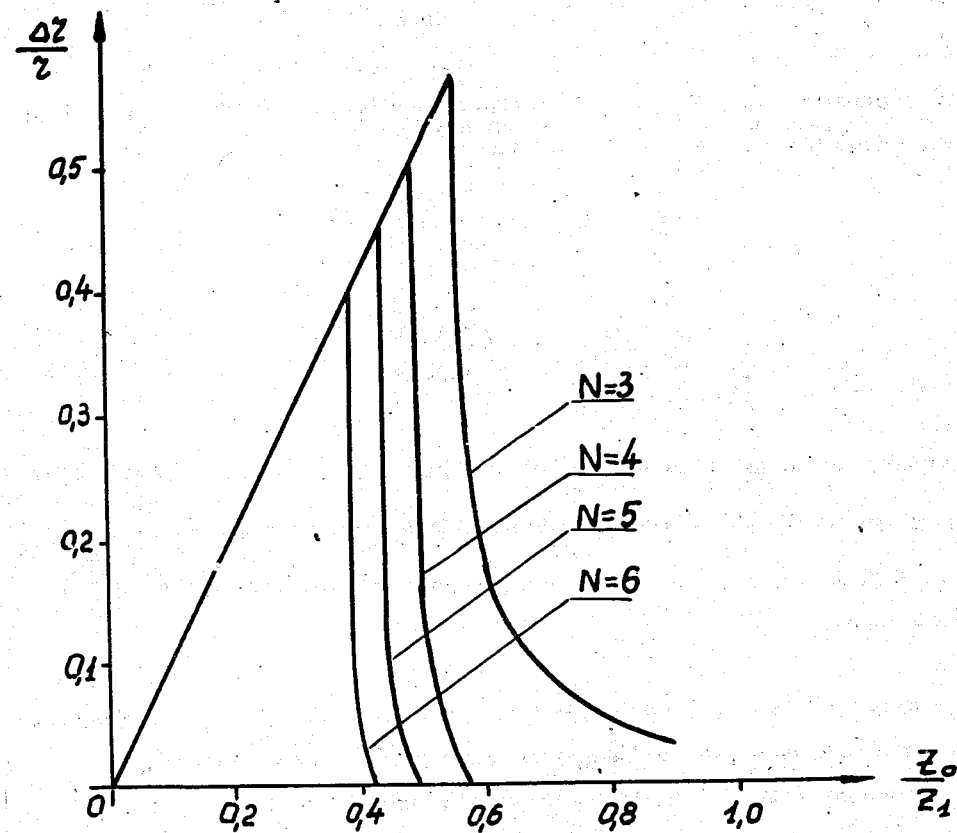


Рис.4. Кривые относительного радиального отклонения иона за оборот после обдирки при различном числе секторов.

одного элемента периодичности, и оно тем меньше, чем больше число секторов. Более того, с ростом числа секторов увеличивается кривизна спада $\frac{\Delta r}{r_0}$ при $\frac{Z_0}{Z_1}$ выше критического. Так, например, для трехсекторного циклотрона $(\frac{Z_0}{Z_1})_{\text{крит.}} = 0,55$, но вывод с перезарядкой можно осуществить для ионов с $(\frac{Z_0}{Z_1})_{\text{пред.}} \leq 0,75$, а для четырехсекторного - соответствующие значения равны 0,48 и 0,53. Это ограничивает диапазон $\frac{A}{Z}$ ионов, для которых можно осуществить вывод с перезарядкой. Так как очевидно, что

$$\frac{Z_0}{Z_1} = \frac{A}{Z_1} : \frac{A}{Z_0}, \quad (5)$$

то

$$\frac{A}{Z_0} = \frac{A}{Z_1} : \frac{Z_0}{Z_1} > 2 \left(\frac{Z_0}{Z_1} \right)_{\text{пред.}}$$

поскольку при больших энергиях (8-10 Мэв/нуклон) $\frac{A}{Z_1} \approx 2$. Таким образом, в случае У-200 методом с перезарядкой можно вывести ионы с $\frac{A}{Z_0} \geq 3,8$, а для вывода других ионов следует применить электростатический метод.

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

Л и т е р а т у р а

1. И.А. Шелаев, С.И. Козлов, Р.Ц. Оганесян, Ю.Ц. Оганесян, В.А. Чугреев. Препринт ОИЯИ 9-3988, Дубна, 1968.

2. Г.Н. Вялов, Ю.Ц. Оганесян, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ 1884, Дубна 1964.
3. J.R. Richardson. Proceedings of an Informal Conference, 7-12, Sea Island, 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 ноября 1969 года.