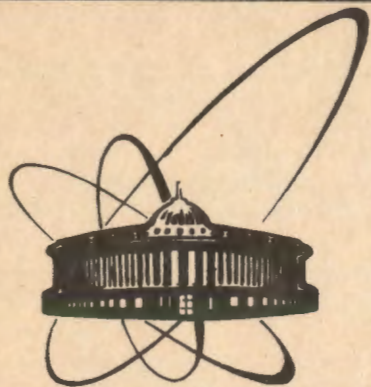


91-461



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

9-91-461

В. В. Бехтерев, Б. А. Кленин, С. И. Козлов

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА  
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЫВОДА  
ПУЧКОВ ИОНОВ  
ИЗ ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА У-400М

1991

В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ завершается сооружение циклотронного комплекса У-400 — У-400М<sup>1/1</sup>, создаваемого для ускорения ионов элементов практически всей таблицы Д.И.Менделеева до энергий 15-100 МэВ/нуклон. Диапазон отношений  $A/Z$  ускоряемых ионов, составляющий 2-5, не позволяет в полной мере использовать вывод ионов методом перезарядки их на тонкой мишени<sup>2-3</sup>. Поэтому для выпуска частиц из циклотрона У-400М разработана электростатическая система в сочетании с фокусирующим магнитным каналом. Магнитное поле циклотрона У-400М формируется четырьмя  $45^\circ$  секторами с максимальным углом спиральности  $40^\circ$  на конечных радиусах ускорения частиц. Четыре дуанта с угловой протяженностью  $30^\circ$  размещаются в долинах ускорителя, что приводит к необходимости размещения электростатических deflectоров внутри полостей дуантов; их угловая протяженность составляет  $25^\circ$ .

В работе приведены результаты исследований электростатического вывода пучков из циклотрона У-400М, полученные численным интегрированием уравнений движения частиц в сформированных магнитных полях ускорителя. При исследовании вывода вычислялась равновесная орбита ионов, центральная траектория пучка, выведенного в данном направлении (ионопровод), изучалось изменение радиального фазового пространства, занимаемого пучком в процессе выпуска с целью определения фокусирующих параметров электростатических deflectоров и магнитного канала.

Инжекция ионов из ускорителя У-400 в циклотрон У-400М будет осуществляться методом их перезарядки на тонкой углеродной мишени<sup>2-3</sup>, после чего отношение массы к заряду  $A/Z$  ускоряемых, а следовательно, и выводимых ионов составит 2-5. Это, например, такие ионы, как  $^{16}\text{O}^{+8}$ ,  $^{20}\text{Ne}^{+8}$ ,  $^{84}\text{Kr}^{+22}$ ,  $^{136}\text{Xe}^{+33}$ ,  $^{238}\text{U}^{+50}$ . Наибольшую трудность для вывода электростатическим методом представляют легкие ионы, ускоряемые до энергии 100 МэВ/нуклон, для которых, как показали расчеты, необходимо использование трех deflectоров с напряженностью электрического поля  $\sim 120$  кВ/см, что приводит к ограничению апертуры между пластинами до 4-5 мм. На рис.1 приведена общая схема вывода ионов из циклотрона У-400М, а на рис.2 представлены зависимости напряженностей электрических полей deflectоров от радиуса вывода для ионов с отношением  $A/Z = 2$  и 5.

Траектории выводимых ионов и частоты аксиальных  $\nu_z$  и радиальных  $\nu_r$  бетатронных колебаний (рис.3, 4) рассчитывались с помощью численного интегрирования дифференциальных уравнений движения и малых колебаний частиц относительно равновесной орбиты<sup>4</sup> в сформированном магнитном поле (рис.5)<sup>5</sup> циклотрона. Из рис.3 и 4 следует, что на радиусах ускорения 181,5 см ( $A/Z = 2$ ) и 179,5 см ( $A/Z = 5$ ) имеются нелинейные резонансы связи  $\nu_r = 2\nu_z$ , приводящие к увеличению амплитуд аксиальных колебаний ионов. Поэтому ра-

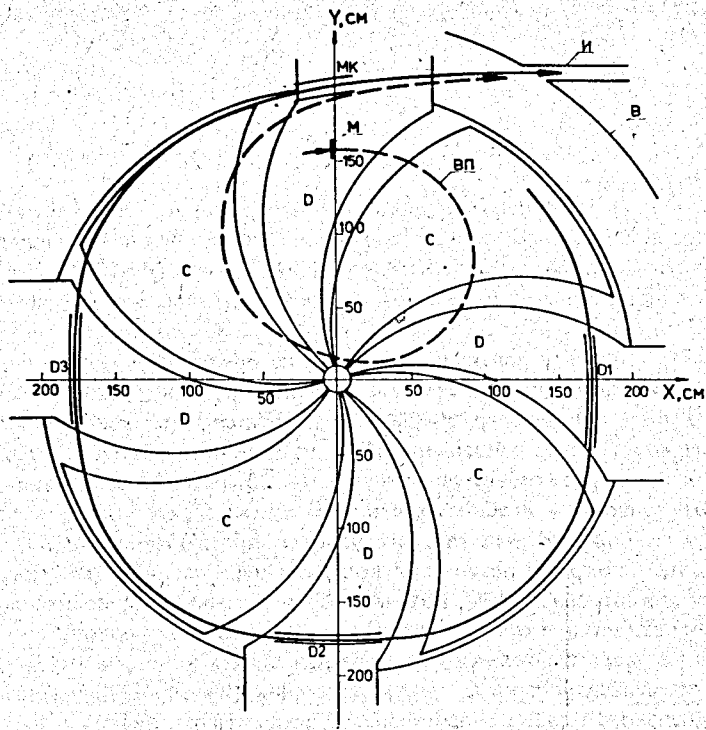


Рис.1. Схема вывода ионов из циклотрона У400М: Д1, Д2, Д3 — электростатические дефлекторы, МК — магнитный фокусирующий канал, М — перезарядная мишень из углерода, ВП — вывод ионов путем перезарядки, С — секторы, Д — дуанты, В — вакуумная камера, И — ионопровод.

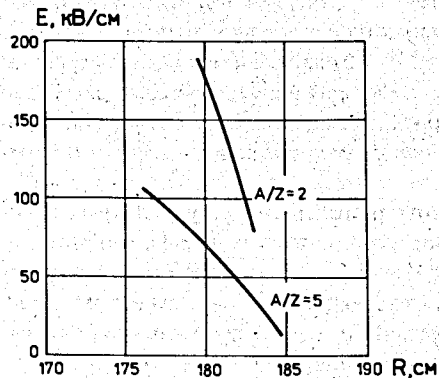


Рис.2. Зависимости напряженностей электрических полей дефлекторов от радиуса вывода ионов.

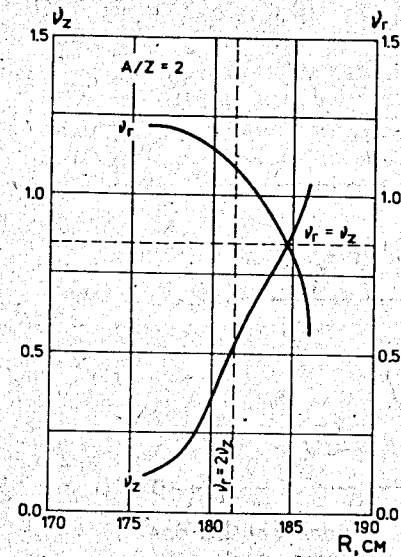


Рис.3. Зависимости частот радиальных  $\nu_r$  и аксиальных  $\nu_z$  бетатронных колебаний от радиуса ускорения для ионов с  $A/Z = 2$ .

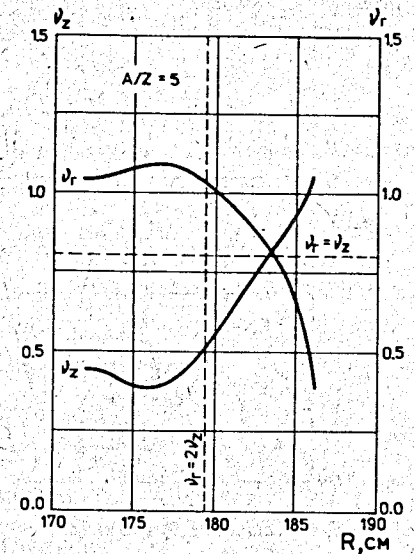


Рис.4. Зависимости частот радиальных  $\nu_r$  и аксиальных  $\nu_z$  бетатронных колебаний от радиуса ускорения для ионов с  $A/Z = 5$ .

диусы вывода ионов для  $A/Z = 2-5$  выбраны равными 181-179 см. На рис.6 представлены огибающие пучка на конечном радиусе ускорения, характеризующие его устойчивость, при этом расчетный радиальный эмиттанс пучка составляет 16 мм.мрад. Огибающие выведенного пучка ионов приведены на рис.7. Для согласования эмиттанса пучка с аксептансом дефлекторов последние имеют гиперболические профили пластин, приводящие к электрической фокусировке ионов по радиусу, что позволяет провести пучок ионов через дефлекторы с минимальными потерями. Величина потерь пучка (коэффициент вывода) определяется толщиной септума первого дефлектора, эмиттансом пучка и аксептансом каналов дефлекторов, а также величиной

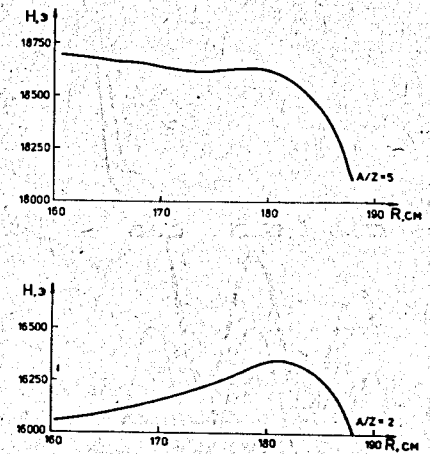


Рис.5. Распределение средних магнитных полей в медианной плоскости циклотрона У400М.

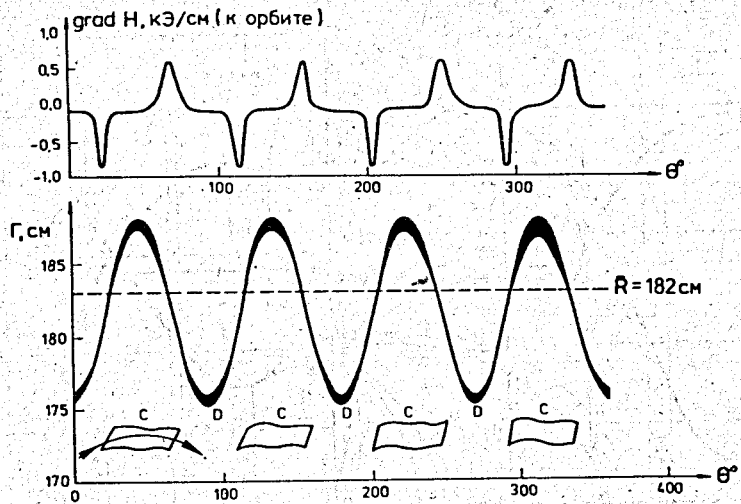


Рис.6. Огибающие пучка и градиент магнитного поля к орбите для конечного радиуса ускорения циклотрона У-400М. С — сектор, Д — долина.

радиального заброса пучка. Последний в значительной степени определяется набором энергии за оборот на конечных радиусах ускорения пучка или напряжением на дуантах. При напряжении на дуантах  $\sim 100$  кВ прирост радиуса ускоренных ионов за оборот не превысит 2 мм. Расчеты показали, что коэффициент вывода пучка ионов составит  $\sim 60\%$ . При работе циклотрона У-400М в автономном режиме ускорения появляется возможность вывода ионов методом их перезарядки на тонкой мишени <sup>(2-3)</sup>, например  ${}^4\text{He}^{+1 \rightarrow +2}$ ,  ${}^{12}\text{C}^{+3 \rightarrow +6}$  и т.д., что позволяет осуществить плавное варьирование энергии выпускаемых ионов за счет изменения радиального и азимутального положений мишени. Применение двух способов вывода частиц на циклотро-

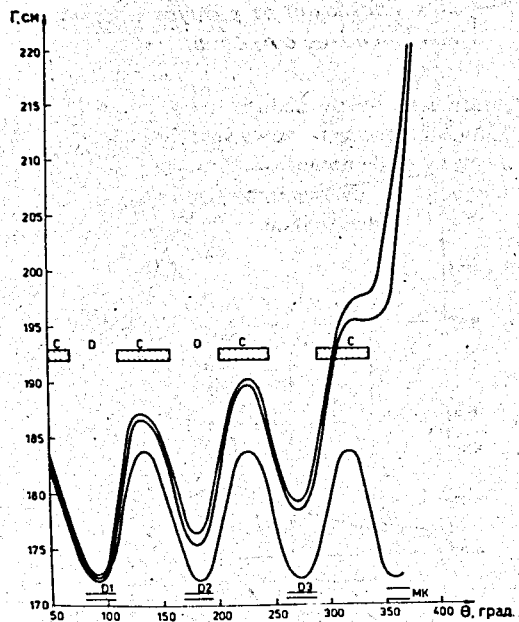


Рис.7. Огибающие выведенного пучка ионов. С — сектор, Д — долина, Д1, Д2, Д3 — деффлекторы, МК — магнитный канал.

не У-400М расширяет возможности ускорителя как экспериментальной физической установки.

Конструкция дефлятора представлена на рис.8 и 9. Дефлятор устанавливается в дуантах в каркасе (6), выполненном из нержавеющей стали, плакированной медью. Каркас с помощью тяг (4), пропущенных через шток (2) резонатора, может перемещаться по радиусу в пределах  $\pm 40$  мм. Движение осуществляется двигателем (15), расположенным вне вакуумного объема, и винтовым механиз-

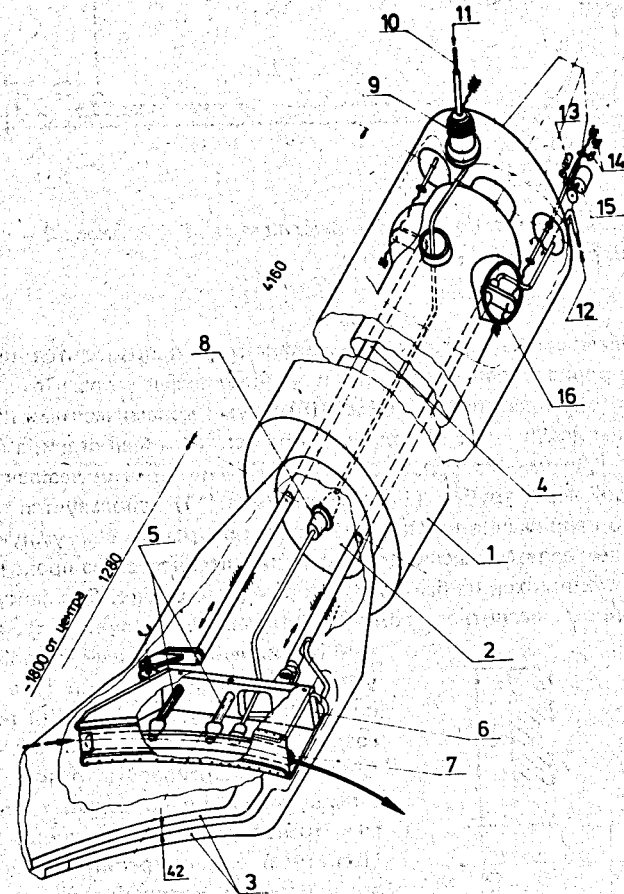


Рис.8. Схема размещения электростатического дефлятора. 1 — бак, 2 — шток, 3 — дуанта, 4 — тяга управления дефлятора, 5 — изоляторы, 6 — каркас дефлятора, 7 — пластины дефлятора, 8 — проходной изолятор, 9 — изолятор, 10 — высоковольтный ввод, 11 — охлаждение потенциальной пластины, 12 — охлаждение земляной пластины, 13 — потенциометр, 14 — выключатель, 15 — двигатель, 16 — винт.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. и др. — ОИЯИ, 9-84-555, Дубна, 1984.
2. Вялов Г.Н., Оганесян Ю.Ц., Флеров Г.Н. — ОИЯИ, 1984, Дубна, 1964.
3. Оганесян Ю.Ц. и др. — ОИЯИ, 9-11993, Дубна, 1978.
4. Басаргин Ю.Г., Литуновский Р.Н. — В сб.: Электрофизическая аппаратура, М.: Атомиздат, 1966, № 5.
5. Gulbekian G.G. et al. — Heavy Ion Physics, Scientific Report, JINR, E7-91-75, Dubna, 1991.

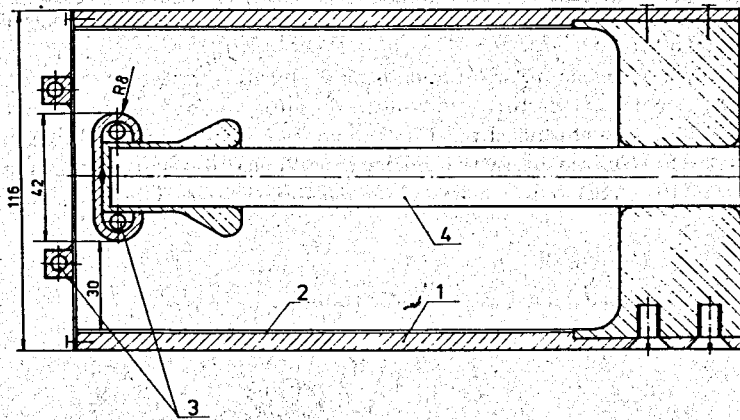


Рис.9. Поперечное сечение каркаса дефлектора. 1 — каркас, 2 — плакировка, 3 — охлаждение, 4 — изолятор.

мом (16). Перемещение входа и выхода дефлектора производится независимо с помощью шарнирного соединения тяг и каркаса дефлектора. Потенциальная пластина дефлектора крепится к каркасу (6) двумя керамическими изоляторами (5). Пластины дефлектора выполняются из нержавеющей стали, а нож (септум) толщиной 0,3 мм — из вольфрама. Охлаждение пластин дефлектора осуществляется водой через трубки (11, 12), а трубка (11) используется также для подачи высокого напряжения на пластины, ввод которого в вакуумную камеру ускорителя осуществляется высоковольтным кабелем через два проходных изолятора (8, 9), находящихся на баке резонатора и в его штоке. Для фокусировки пучка в рассеянном магнитном поле циклотрона используется трехэлементный пассивный магнитный канал с прямоугольным сечением пластин (рис.10), располагаемый в дуанте, который позволяет создать градиент поля  $\sim 1$  кЭ/см и эффективно транспортировать пучок на вход в первую пару квадрупольных линз системы транспортировки внешних пучков.

Магнитный канал крепится к алюминиевому каркасу, который с помощью двух штоков может перемещаться по радиусу на  $\pm 25$  мм без нарушения вакуума в ускорителе.

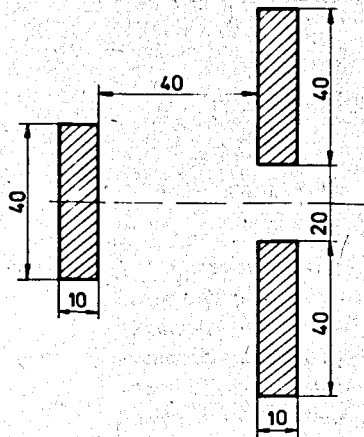


Рис.10. Поперечное сечение магнитного канала.

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 октября 1991 года.