

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

9-85-432

С.Л.Богомолов, Ю.Дитрих*, В.Б.Кутнер

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
ИОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ЦИКЛОТРОННОГО ИСТОЧНИКА ИОНОВ

* Центральный институт ядерных исследований
АН ГДР

1985

Задача получения на циклотронах интенсивных ионных пучков с заданными параметрами во многом зависит от начальной ионной оптики ускорителя. В работе^{1/} показано, что при наложении определенных требований, необходимых для устойчивого ускорения, на разброс энергий и децентровку пучка в центральной области циклотрона, существенным фактором, определяющим интенсивность пучка, является его горизонтальный разброс, определяемый свойствами ионно-оптической системы.

Наиболее распространенная ионно-оптическая система внутреннего циклотронного источника включает в себя заземленную эмиссионную щель источника и пуллер дуанта под высокочастотным напряжением. Недостаток такой системы - отсутствие возможности изменения ее параметров в достаточно широких пределах^{2/}.

В данной работе описаны эксперименты по изучению свойств трехэлектродной ионно-оптической системы /ИОС/ для внутреннего циклотронного источника многозарядных ионов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводились на экспериментальном стенде ионных источников ЛЯР ОИЯИ^{3,4/}. В работе использовался источник многозарядных ионов с косвенным подогревом катода и осцилляцией электронов в магнитном поле^{5/}.

Методика измерения угловой расходимости ионного пучка в горизонтальной плоскости аналогична описанной в работе^{6/}; она представлена на рис.1. Ионы извлекаются из источника трехэлектродной ионно-оптической системой. После поворота в однородном магнитном поле на 180° ионный пучок с выбранным отношением A/Z / A - атомный номер элемента, Z - заряд иона/ попадает на коллектор. Между коллектором и источником ионов в пучок вводится пластина с щелью, выделяющей часть его. Ширина щели в пластине составляет 3 мм, ширина входной щели коллектора - 1 мм. При каждом положении пластины проводится сканирование выделенной части пучка коллектором, сигнал с коллектора подается на Y-вход 2-координатного самописца. Сигнал с датчика положения пластины подается на X-вход самописца. На рис.2 показан профиль пучка, полученный с помощью самописца.

Угловая расходимость пучка оценивается по отношению ширины профиля пучка на полувысоте к длине траектории от ускоряющего электрода до пластины.

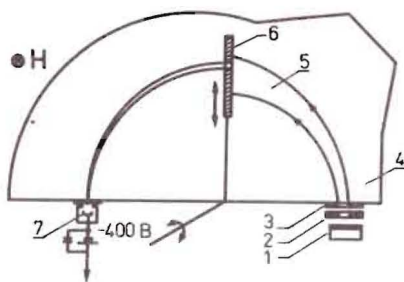


Рис.1. 1 - ионный источник, 2 - вытягивающий электрод, 3 - ускоряющий электрод, 4 - дуант, 5 - пучок ионов, 6 - пластина с щелью, 7 - коллектор ионов.

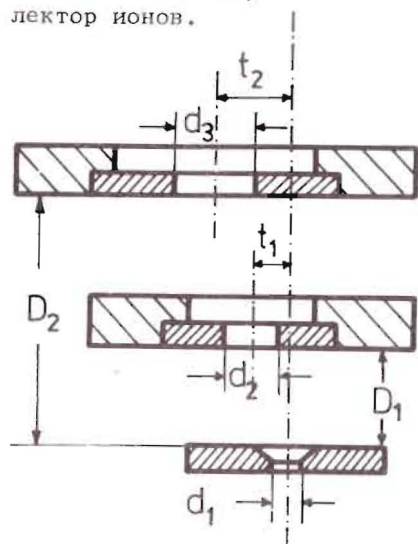


Рис.3. Геометрия электродов ионно-оптической системы: 1 - эмиссионная щель источника, 2 - вытягивающий электрод, 3 - ускоряющий электрод.

Ионный источник находится под нулевым потенциалом, электроды ИОС - под отрицательными по отношению к источнику потенциалами, ускоряющий электрод имеет потенциал дуанта. Напряжение на электродах ИОС подается от двух независимых высоковольтных выпрямителей.

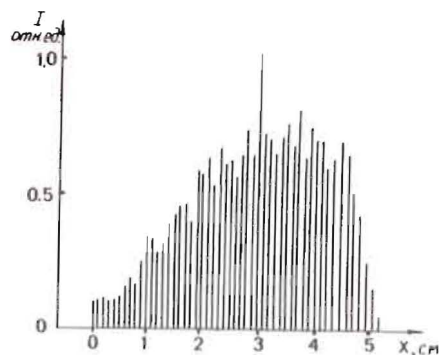


Рис.2. Профиль пучка ионов Ar^{4+} .

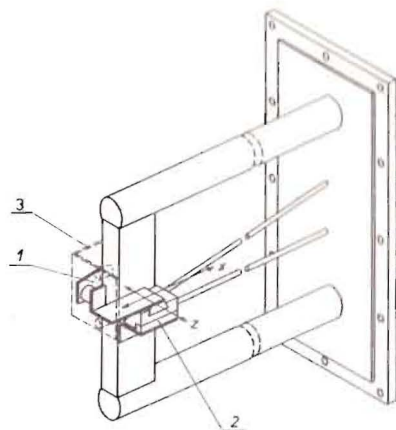


Рис.4. Общий вид источника ионов: 1 - вытягивающий электрод, 2 - устройство перемещения вытягивающего электрода, 3 - ускоряющий электрод.

На рис.3 показана геометрия электродов ИОС в медианной плоскости. Щели в электродах имеют следующие размеры: эмиссионная щель - $1 \times 15 \text{ мм}^2$, в извлекающем электроде - $5 \times 40 \text{ мм}^2$, в ускоряющем электроде - $8 \times 40 \text{ мм}^2$. Расстояние от эмиссионной щели до ускоряющего электрода - $D_2 = 15 \text{ мм}$ определяется конструктивным расположением источника в камере стэнда. Расстояние между осями эмиссионной щели и щели ускоряющего электрода выбиралось с учетом орбиты пучка ионов Ar^{4+} ; оно составляет $t_2 = 3 \text{ мм}$. Положение извлекающего электрода / D_1 и t_1 / можно изменять дистанционно в процессе эксперимента без нарушения вакуума и без снятия высокого напряжения с электродов.

Общий вид источника ионов с устройством для перемещения извлекающего электрода показан на рис.4.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе проведены измерения угловой расходимости пучка ионов Ar^{4+} при различных напряжениях на электродах ИОС и различных режимах разряда в ионном источнике. Диапазон изменения параметров был следующим: напряжение на извлекающем электроде (u_2) - $5 \div 25 \text{ кВ}$, напряжение на ускоряющем электроде (u_3) $13 \div 20 \text{ кВ}$, ток разряда ионного источника - $5 \div 15 \text{ А}$. Источник работал в импульсном режиме с частотой 100 Гц , длительность импульса составляла от 1 до 2 мс, напряжение на разряде поддерживалось - 500 В . Напряженность магнитного поля составляла $0,33 \text{ Т}$, рабочее давление в вакуумной камере стэнда - $2 \cdot 10^{-5} \text{ Тор}$.

На рис.5 представлена зависимость угловой расходимости пучка ионов Ar^{4+} и величин токов вытягивающего электрода (J_2) и дуанта (J_3) от напряжения (u_2) на вытягивающем электроде при напряжении на дуанте $u_3 = 15 \text{ кВ}$ и токе разряда 9 А . Измерения проведены при $D_1 = 5 \text{ мм}$ и $t_1 = 0$. Видно, что ионный пучок имеет малую угловую расходимость в узких диапазонах напряжений на электродах ИОС в режимах ускорение - ускорение и ускорение - замедление.

На рис.6 представлены зависимости угловой расходимости ионного пучка от тока разряда. Измерения проведены при напряжении на дуанте 17 кВ и напряжениях на вытягивающем электроде $15, 17$ и 19 кВ . С увеличением тока разряда происходит рост угловой расходимости. Наибольшую расходимость пучок имеет при $u_2 = u_3$. Подобные зависимости получаются также при других напряжениях на дуанте и токах разряда.

Используя в качестве характеристики ионного пучка первеанс вытягивания, определенный как $P_{\text{выт.}} = J_{\Sigma} / u_2^{3/2}$, где J_{Σ} - сумма токов вытягивающего электрода и дуанта, А; u_2 - напряжение на извлекающем электроде, В, можно по экспериментальным данным построить зависимости угловой расходимости пучка ионов Ar^{4+} от параметров разряда и ионно-оптической системы. Результаты,

Рис.5. Зависимость угловой расходимости пучка ионов Ag^{4+} , токов вытягивающего электрода (J_2) и дуанта (J_3) от напряжения на вытягивающем электроде.

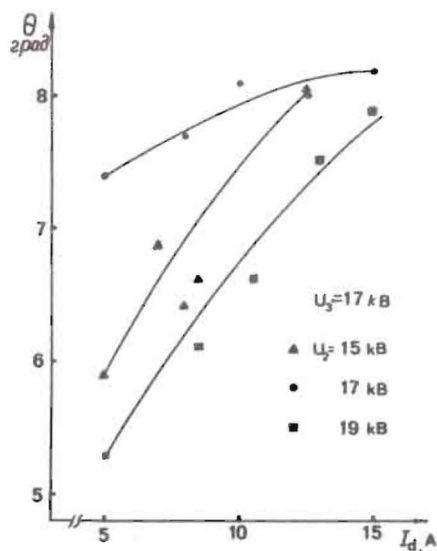


Рис.6. Зависимость угловой расходимости пучка ионов Ag^{4+} от тока разряда.

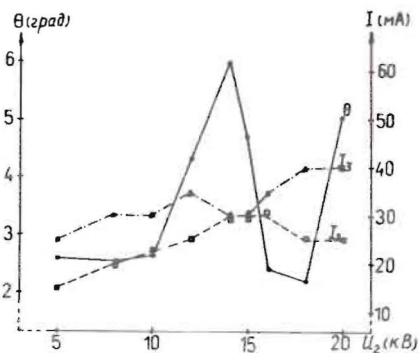
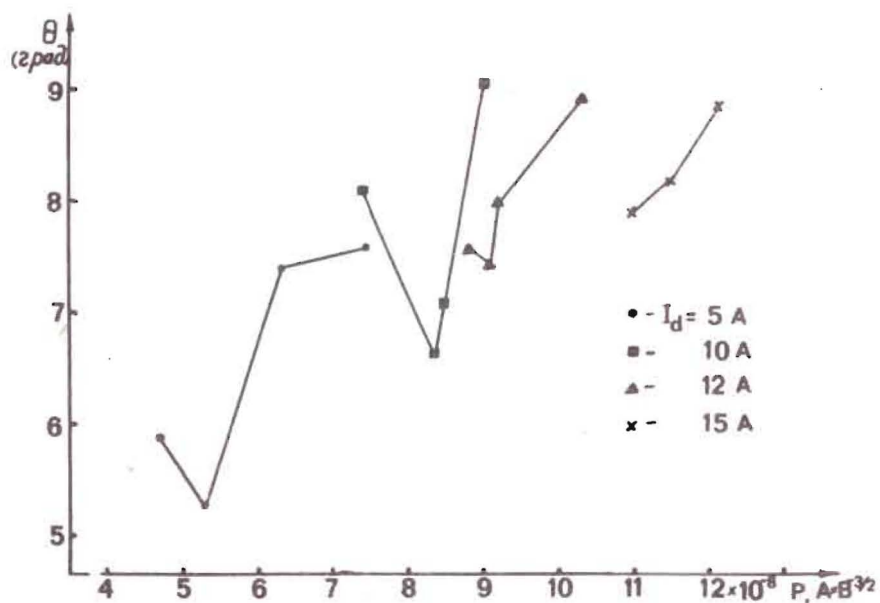


Рис.7. Зависимость угловой расходимости пучка ионов Ag^{4+} от первеанса вытягивания.



полученные при напряжении на дуанте $u_3 = 17$ кВ, представлены на рис.7. Видно, что при всех значениях тока разряда существует оптимальный первеанс, при котором расходимость ионного пучка минимальна. При токе разряда 15 А оптимальный первеанс не был установлен, так как в этом случае из источника вытягиваются значительные токи, а величина напряжения на вытягивающем электроде ограничена электрической прочностью промежутка эмиссионная щель источника - вытягивающий электрод, и в нашем случае не превышает 21 кВ.

При изменении расстояния между вытягивающим электродом и эмиссионной щелью источника (D_1) в диапазоне 2÷8 мм не наблюдалось значительных изменений угловой расходимости ионного пучка. При этом происходит перераспределение ионного тока между электродами ИОС. С увеличением D_1 уменьшается ток дуанта и возрастает ток вытягивающего электрода. Измерения были проведены при напряжении на вытягивающем электроде 15 кВ, на дуанте - 17 кВ, токе разряда - 10 А.

Было установлено, что существует оптимальное положение щели вытягивающего электрода в поперечном по отношению к ионному пучку направлении, соответствующее максимальному току, проходящему в дуант. Это положение меняется при изменении других параметров ИОС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования трехэлектродной ионно-оптической системы циклотронного источника многозарядных ионов показано, что при изменении режима работы источника минимальная угловая расходимость ионного пучка может быть достигнута регулировкой параметров ИОС. Это может быть осуществлено регулировкой напряжения на вытягивающем электроде.

Максимальное прохождение ионного пучка через ИОС может быть получено регулировкой положения вытягивающего электрода.

В заключение авторы выражают благодарность В.И.Райко за полезные обсуждения, Р.Кирхбаху и А.А.Еропкину за разработку и изготовление ионно-оптической системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гульбекян Г.Г., Мордуев А.М. ОИЯИ, Р9-80-768, Дубна, 1980.
2. Дитрих Ю., Козловски З.А. ОИЯИ, 9-82-757, Дубна, 1982.
3. Пасюк А.С. и др. ОИЯИ, 1523, Дубна, 1964.
4. Пасюк А.С. и др. АЭ, 1968, т.24, вып.1, с.21.
5. Пасюк А.С., Кутнер В.Б. ОИЯИ, Р7-4289, Дубна, 1969.
6. Tompa M., Reiser M. IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1972, vol.NS-19, No.2, p.80.