

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

109 / 2-81

12/1-81

P7-80-641

Ю.П.Третьяков

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННОГО ИСТОЧНИКА  
С КАТОДНЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ  
РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

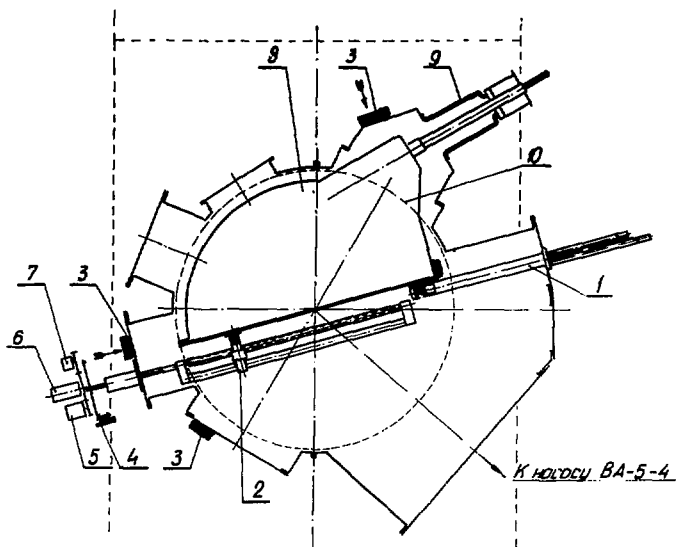
Направлено на III Всесоюзный семинар  
по физике и технике интенсивных источников  
ионов и ионных пучков /Киев, октябрь 1980 г./

1980

В связи с необходимостью получить на ускорителях Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ пучки ионов элементов, которые в нормальных условиях находятся в твердом состоянии, был разработан циклотронный источник многозарядных ионов /м.з.и./ типа Пеннинга с катодным распылением рабочего вещества <sup>1/</sup>. Источник использовался в течение ряда лет при ускорении на циклотроне У-300 ионов металлов - от магния до висмута - на основной частоте либо на 3-й гармонике <sup>2/</sup>. Такой широкий диапазон ускоренных ионов дал возможность выполнить ряд важных работ по синтезу трансфермиевых элементов, изучению квазиатомных состояний, решению прикладных задач и др. В настоящее время усовершенствованный источник м.з.и. с катодным распылением рабочего вещества эксплуатируется на новом ускорителе Лаборатории ядерных реакций - изохронном циклотроне У-400.

Суть использования метода катодного распыления для подачи рабочего материала в ионный источник состоит в том, что в разряд вводится электрод, содержащий вещество, ионы которого необходимо получить. На распыляемый электрод подается отрицательный потенциал от отдельного источника напряжения. Путем регулировки величины этого потенциала, а также положения электрода осуществляется точная дозировка рабочего вещества; плавность регулировки поступления ионизируемого материала определяет возможность получения высоких зарядов ионов <sup>3/</sup>. Уже первые испытания источника на стенде и циклотроне показали <sup>4/</sup>, что основная часть распыленного материала осаждается на стенках разрядной камеры, на участке с небольшой аксиальной протяженностью вблизи электрода. Поэтому в источнике эмиссионная щель и распыляемый электрод размещены на одном уровне по высоте столба разряда.

Однако остается невыясненным, какими частицами осуществляется перенос материала электрода на стенки. Можно предположить, что расположение максимума концентрации ионов рабочего вещества высоких зарядностей в столбе разряда не соответствует области с наибольшей толщиной осадка материала, поскольку в работе <sup>3/</sup> отмечается возможность охлаждения электронов плазмы в результате интенсивного потока материала катода в столб разряда. Поэтому представляется полезной попытка анализа пространственного распределения ионов распыленного материала различных зарядностей оптическим методом, который дает возможность изучения распределения интенсивности спектральных линий по высоте и ширине разряда за один опыт.



**Рис.1.** Вакуумная камера стенда ионных источников.  
 1 - ионный источник, 2 - коллектор ионов, 3 - окна для оптических наблюдений, 4-7 - узлы механизма перемещения и индикации положения коллектора, 8 - дуант, 9 - изолятор ввода ускоряющего напряжения, 10 - полюсной наконечник электромагнита.

Спектры наблюдались через кварцевые окна в вакуумной камере стенда ионных источников Лаборатории ядерных реакций /рис.1/<sup>13,51</sup>. Изображение разрядной камеры ионного источника с помощью системы зеркал и объектива фокусировалось на щель оптического спектрографа ДФС-8 с решеткой 1200 штрихов на мм. Регистрация спектра осуществлялась на аэрофотопленку, обработка полученных спектрограмм производилась с помощью микрофотометра ИФ0-451.

При оптическом методе анализа распределения ионов высоких зарядностей необходимо использовать в качестве рабочего вещества элемент, спектральные линии ионов которого известны и расположены в области, удобной для оптических исследований. В области длин волн  $\lambda > 2000 \text{ \AA}$ , не требующей применения вакуумных спектрографов, только для молибдена известны спектральные линии ионов до пятизарядных <sup>15/</sup>. Поэтому было естественным взять для оптических исследований молибден.

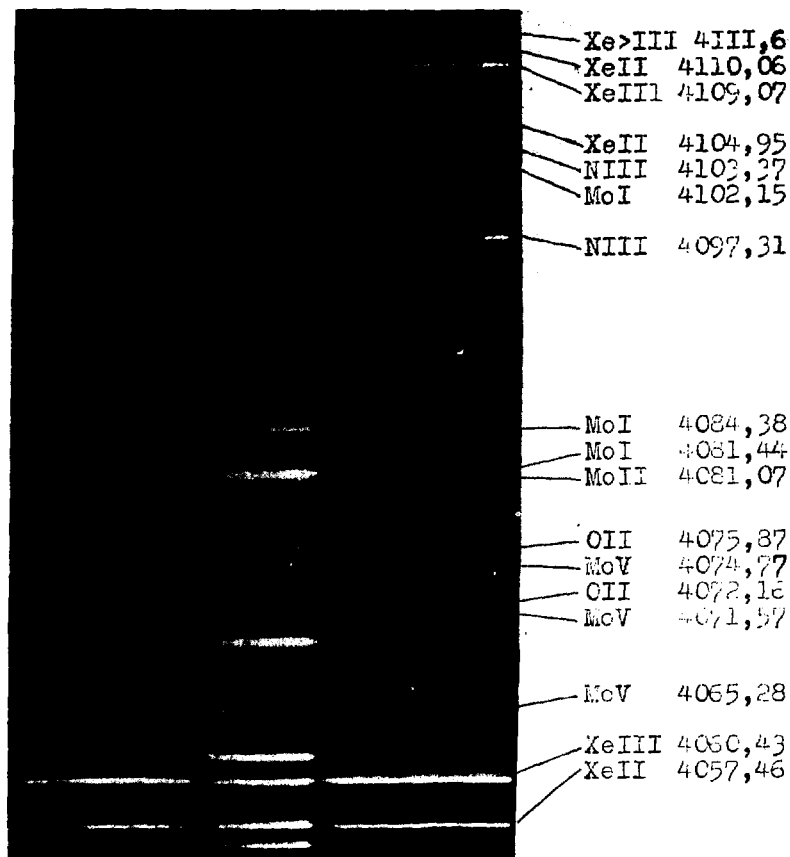


Рис.2. Участок спектра, измеренный через вертикальную щель в разрядной камере. Указаны некоторые спектральные линии и соответствующие длины волн в ангстремах.

Распределение спектра по оси разряда наблюдалось через специально сделанную щель в передней стенке разрядной камеры шириной 1 мм и длиной 135 мм. Фотография участка спектра в диапазоне длин волн  $\lambda = 4050 \div 4110 \text{ \AA}$ , измеренного через вертикальную щель, показана на рис.2. Источник работал в следующем

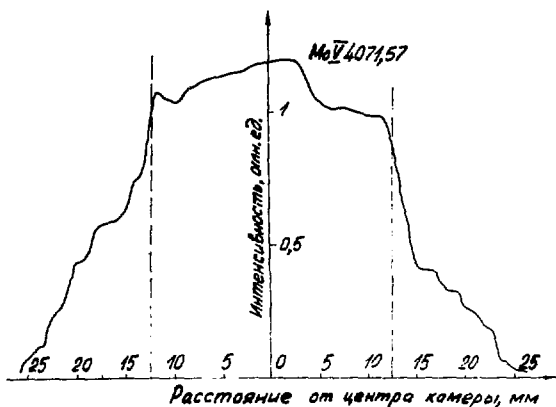


Рис. 3. Распределение интенсивности линии Mo V с  $\lambda = 4071,57 \text{ \AA}$  вдоль разряда.

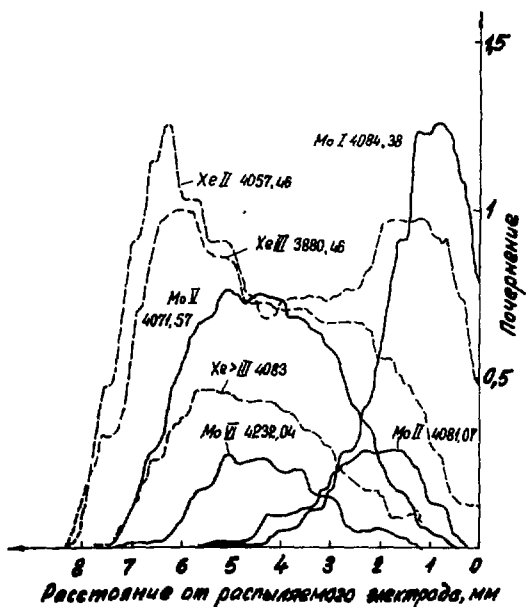


Рис. 4. Поперечное распределение интенсивностей линий атомов и ионов Mo и Xe.

режиме: напряжение и ток дуги в импульсе были 630 В и 8 А, напряжение и ток в импульсе в цепи распыляемого электрода - 1000 В и 2,6 А. В качестве вспомогательного газа использован ксенон. И без фотометрической обработки видно, что линии нейтральных атомов и однозарядных ионов молибдена занимают участок с четкими границами в середине разрядной камеры. В то же время линии  $\text{MoV}$  /  $\lambda = 4065,28 \text{ \AA}$ ;  $4071,57 \text{ \AA}$  и  $4074,77 \text{ \AA}$  / имеют более размытые границы. На рис.3 приводится относительная интенсивность линии иона  $\text{Mo}^{2+}$  вдоль разряда. Из рисунка видно, что интенсивность линии постоянна напротив электрода и спадает наполовину уже на расстоянии  $\sim 3$  мм от электрода. По-видимому, при заданной высоте эмиссионной щели для получения максимального тока ионов электрод должен перекрывать щель по высоте.

Из спектрограмм видно также, что интенсивность линий вспомогательного газа /  $\text{XeII}$   $4067,46 \text{ \AA}$ ;  $\text{XeIII}$   $3880,46 \text{ \AA}$ ;  $\text{Xe} > \text{III}$   $4083 \text{ \AA}$  / практически постоянна вдоль всей высоты столба разряда, кроме области распыляемого электрода, где она уменьшается. Это объясняется вытеснением газа материалом распыляемого электрода. Наблюдаемые на рис.2 линии азота и кислорода имеют около торцов разрядной камеры максимальную интенсивность, которая быстро спадает по мере приближения к центру. Такое распределение примеси воздуха свидетельствует о том, что она поступает в разряд через открытые торцы камеры.

Поскольку максимальная интенсивность всех ионов распыляемого материала наблюдается в районе электрода, при изучении поперечного их распределения щель в боковой стенке разрядной камеры была сделана на половине ее высоты. Изображение поперечной щели поворачивалось на  $90^\circ$  с помощью системы из двух взаимно перпендикулярных зеркал, так что оно оказывалось расположенным вдоль щели спектрографа. На рис.4 приведены результаты фотометрической обработки спектра поперечного распределения. Напряжение и ток разряда в импульсе были равны 600 В и 9,5 А, напряжение на распыляемом электроде - 900 В, ток в импульсе - 1,95 А. Электрод был установлен в плоскости стенки разрядной камеры.

На спектрограмме видны линии ксенона и молибдена. Можно полагать, что распределение линий ксенона отражает стадию развития разряда в начале импульса. Линии однозарядного ксенона имеют максимальную интенсивность около стенок камеры, линии  $\text{XeIII}$  светятся почти равномерно по сечению, линии  $\text{Xe} > \text{III}$  - у оси разряда. Такая картина может быть объяснена взаимодействием двух факторов. С одной стороны, концентрация и температура электронов на оси разряда, по-видимому, выше, чем у стенок <sup>1/</sup>. С другой стороны, в центральной части камеры газ поступает в разряд со стенок после нейтрализации попадающих туда из разряда ионов; таким образом, распределение интенсивностей линий

в какой-то мере отражает последовательные стадии ионизации атомов ксенона при их движении от стенок к оси разряда.

Спектральные линии нейтрального и однозарядного молибдена светятся только у поверхности электрода. Отсутствие их свечения у стенок камеры объясняется прилипанием атомов молибдена к стенкам. Однонаправленный поток распыленного материала с электрода мог бы привести к охлаждению электронов у поверхности электрода<sup>/8/</sup> и перемещению максимума концентрации м.з.и. от поверхности. Распределение почернений различных линий /рис.4/ свидетельствует о том, что положения максимумов интенсивностей линий  $Xe>III$  и линий  $MoV$  и  $MoVI$  совпадают. Следовательно, заметного изменения ионообразующей способности разряда по сечению при подаче напряжения на распыляемый электрод не наблюдается, что можно объяснить поступлением быстрых электронов вдоль магнитного поля из других частей разряда.

Из спектрограммы видно также, что вблизи поверхности электрода преобладают ионы металла малой зарядности. Наоборот, поток на стенки камеры, удаленные от распыляемого электрода, должен содержать ионы преимущественно высоких зарядностей, поскольку на спектрограммах в этой области не отмечается присутствие однозарядных ионов. По-видимому, доля ионов металла с малым зарядом относительно меньше, чем доля газовых ионов малых зарядностей в источнике м.з.и. того же типа: ионы газа, достигнув стенки разрядной камеры, нейтрализуются и вновь поступают в разряд. На этих атомах может происходить перезарядка ионов высоких зарядностей, которая приводит к появлению ионов малых зарядностей как за счет ионизации нейтральных атомов, так и за счет понижения заряда м.з.и. Такой вывод делают авторы работ<sup>/7-10/</sup> из опытов по извлечению ионов из источников м.з.и. типа Леннинга. Ионы же твердого рабочего вещества поглощаются стенками разрядной камеры, поток нейтральных атомов со стенок отсутствует.

На основании рассмотрения спектров разряда, измеренных через поперечную и продольную щели в разрядной камере источника м.з.и., можно сделать следующий вывод: эффективное извлечение из источника м.з.и. ионов распыленного материала достигается в том случае, когда эмиссионная щель источника достаточно удалена от поверхности распыляемого электрода, например, расположена на стенке разрядной камеры, противоположной распыляемому электроду. Высота эмиссионной щели должна соответствовать высоте электрода.

Автор признателен академику Г.Н.Флерову за постоянное внимание к экспериментам с ионными источниками. Автор благодарен Н.П.Романову, под руководством и при участии которого были проведены оптические измерения, и сотрудникам группы ионных источников за помощь в работе и полезные обсуждения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Третьяков Ю.П., Соловьева Г.М. Авт.свид.СССР 502 422, кл. H01J 37/34 от 04.06.74. Бюлл. ОИПОТЗ, 1976, вып.5, с.172.
2. Кутнер В.Б., Пасюк А.С., Третьяков Ю.П. ОИЯИ, 9-11281, Дубна, 1978.
3. Пасюк А.С., Третьяков Ю.П., Горбачев С.А. АЭ, 1968, 24, с.21; ОИЯИ, P7-3370, Дубна, 1967.
4. Третьяков Ю.П. и др. ОИЯИ, P7-4477, Дубна, 1969.
5. Романов Н.П., Стриганов А.Р. Оптика и спектроскопия, 1966, 27, с.17.
6. Кулькина Л.П., Пасюк А.С. ЖТФ, 1966, 36, вып.4, с.726.
7. Морозов П.М., Маков Б.Н., Иоффе М.С. АЭ, 1957, 2, с.272.
8. Pariseau A., Benezech P., Mailard R. J.Phys.Rad., 1960, 21, p.410.
9. Mavrogenes G.S., Ramler W.J., Turner C.B. IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1965, NS-12, p.769.
10. Miyazawa Y. et al. IEEE Trans.on Nucl.Sci., 1972, NS-19, p.105,109.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 октября 1980 года.