

2/1-73

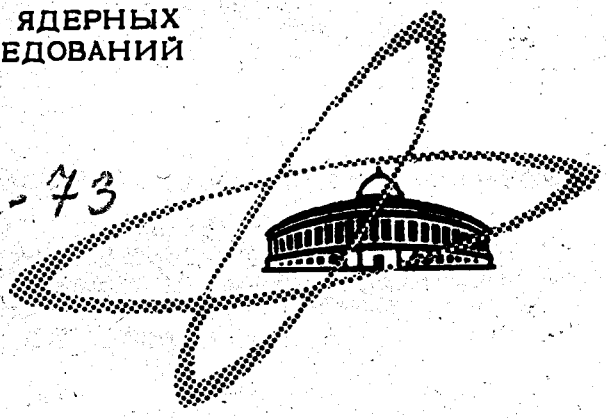
П-199

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P7 - 6668

78/2-73



А.С.Пасюк, Ю.П.Третьяков

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

ИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ
ИЗ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ

1972

P7 - 6668

А.С.Пасюк, Ю.П.Третьяков

**ИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ
ИЗ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ**

Направлено в журнал "Information
zur Kernforschung und Kerntechnik"

**Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА**

S u m m a r y

The indirectly heated cathode sources of multicharged ions of solid materials have been developed for three-meter cyclotron of JINR. The feed of the material into the discharge was realized by two methods: by the cathode sputtering of solids or by the evaporation ones from a crucible. The ion sources worked in the pulse regime on the bench as well as on the cyclotron.

Multicharged ions of Mg, Si, P, Ca and Zn were produced in the bench test from the ion source operating on vapors of these materials. Mg^{4+} , Si^{5+} , P^{5+} , Ca^{7+} and Zn^{10+} ions were accelerated in the cyclotron. The directly heated crucible was used.

Multicharged ions of Mg, Si, Ca, Ti, Cu, Zn, Mo, Ta, W and Re were produced in the bench test from the ion source with the cathode sputtering. Ca^{7+} , Ca^{8+} and Zn^{10+} ions were accelerated in the cyclotron which were produced from this ion source. Some kind of noble gas was usually used as an auxiliary.

Газоразрядный источник многозарядных ионов с подогревным катодом, в котором используется дуговой разряд с осцилляцией электронов, в течение ряда лет эксплуатируется на циклотронах Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Этот источник зарекомендовал себя как самый эффективный из используемых в настоящее время. В опытах на стенде из него получены ионы Kr^{11+} и $Xe^{13+}/15$ и 5 мка в импульсе соответственно/. Однако этот источник применяется только для ионизации элементов, имеющих газообразные соединения /или соединения с высоким давлением паров/ в нормальных условиях.

С целью получения многозарядных ионов из твердых соединений нами разработаны источники многозарядных ионов, в которых ионизируемое вещество подается в разряд методом катодного распыления /1,2/ либо в виде паров /3,4/. В настоящем сообщении представлены результаты стендовых испытаний и работы этих источников на циклотроне У-300.

Источники с катодным распылением рабочего вещества

Конструкция источника показана на рис. 1. Источник работает в магнитном поле H циклотрона. Катод /2/, подогреваемый электронным потоком с нити /1/, эмиттирует электроны, которые осциллируют между катодом и охлаждаемым антикатодом /8/, находящимся под потенциалом катода. Электронный поток ионизует газ, поступающий в разрядную камеру /7/ /она же является анодом/ через канал /4/, в результате чего возникает дуговой разряд. Электрод /5/ из распыляемого рабочего вещества, закрепленный

на охлаждаемом медном держателе /6/, находится под отрицательным потенциалом. Имеется возможность перемещать электрод в разряд и обратно в ходе работы /механизм перемещения на рисунке не показан/. Под действием бомбардировки ускоренными ионами плазмы электрод распыляется. Выбитые частицы попадают в разряд и ионизируются. Питание катода, антикатода и нити осуществляется по обычной схеме питания ионного источника. Распыляемый электрод подключен к отрицательному полюсу отдельного регулируемого выпрямителя через балластное сопротивление; положительный полюс выпрямителя заземлен через безындуктивный шунт, с которого снимается на осциллограф импульс тока на электрод.

В таком источнике в разряд могут быть поданы и тугоплавкие вещества с любой температурой плавления и испарения. Распыление рабочего вещества идет только в течение импульса работы источника. Автономное питание распыляемого электрода от регулируемого выпрямителя позволяет осуществить точную дозировку подачи в разряд ионизируемого вещества.

Размещение распыляемого электрода в области эмиссионной щели источника и непрерывная подача вспомогательного газа приводят к локализации рабочего вещества в месте извлечения ионов, ионы газа находятся преимущественно вне области расположения электрода. Благодаря этому, получаемый из источника ток ионов распыленного вещества превышает ток ионов вспомогательного газа и составляет 60-90% полного тока /см. табл. 1/.

В целях уменьшения расхода вещества при работе с материалами, имеющими сравнительно невысокую /до 1000°C/ температуру испарения, разработан источник с горячей разрядной камерой, разогреваемой рабочим разрядом /2/. Конструкция разрядной камеры такого источника идентична конструкции разрядной камеры ионного источника с подачей рабочего вещества в виде пара.

Источник с испарением рабочего вещества

Схематически конструкция источника показана на рис. 2. Неохлаждаемая разрядная камера /7/ изготовлена из нержавеющей стали и теплоизолирована от штоков источника с помощью титановых шайб /9/. В нижней части камеры крепится тигель /10/, сделанный из нержавеющей стали. В него загружается испаряемое вещество, ионы которого необходимо получать, и он разогревается током от

регулируемого стабилизированного выпрямителя ; ток проходит непосредственно по стенкам тигля. Между тиглем и газоразрядной камерой установлен экран из дюралюминия, отполированный до зеркального блеска /11/. Для экранировки от высокой частоты тигель циклотронного источника заключен в медный кожух /на рисунке он не показан/. Непосредственный нагрев, экранировка, а также предельно облегченная конструкция тигля позволяют уменьшить тепловую инерцию при регулировке подачи паров рабочего вещества. Пары рабочего вещества из тигля по паропроводу /6/ через отверстие /5/ поступают в канал разрядной камеры. Были приняты меры по герметизации камеры для того, чтобы уход паров из источника осуществлялся только через эмиссионную щель. Температура паропровода и разрядной камеры поддерживается всегда несколько выше, чем температура тигля, во избежание конденсации пара. Контроль за температурой разрядной камеры и тигля осуществляется с помощью хромель-алюмелевых термопар, помещенных в специальные гнезда на этих деталях.

Работа источников на стенде

На стенде разделение ускоренных ионов по зарядам производится в однородном магнитном поле напряженностью 4 кэ при повороте на 180° . На этом же поле работает источник. Ускоряющее напряжение равно 15 - 25 кв, токи различных ионов регистрируются коллектором, перемещающимся вдоль линии фокусов, и записываются на ленту самописца, которая движется синхронно с коллектором. Примеры диаграмм, на которых записаны зарядовые спектры ионов кальция /источник с распылением/ и цинка /источник с испарением/ представлены на рис. 3 и 4. Режим работы источников : импульсный, частота посылок - 100 гц, длительность импульса - 1 мсек. В качестве рабочих веществ использовались элементарные материалы технической чистоты. Ионы кремния в источнике с испарением рабочего вещества были получены при загрузке в тигель смеси сульфидов с элементарным кремнием /5/.

При работе источника с катодным распылением рабочего вещества напряжение на распыляемый электрод подавалось после установления режима дугового разряда на вспомогательном газе. В качестве вспомогательного газа обычно использовался какой-

либо инертный газ. Род газа выбирался таким образом, чтобы полученные из него ионы не мешали идентификации пиков и измерению величины токов ионов материала электрода.

В начале работы источника с испарением рабочего вещества для разогрева разрядной камеры источник зажигался на каком-либо инертном газе, затем разогревался тигель. По мере поступления паров вещества в разрядную камеру подача инертного газа постепенно уменьшалась до полного прекращения.

Результаты испытаний источников на стенде представлены в табл. 1 и 2 /указаны суммарные токи всех изотопов исследуемого элемента в импульсе/.

Количество расходуемого рабочего вещества мы приведем для кальция и цинка, потому что ионы этих элементов были получены при использовании источников всех трех типов. При коэффициенте заполнения 0,1 расход кальция был: в источнике с катодным распылением рабочего вещества с охлаждаемой разрядной камерой - 0,1 г/час, в источнике с катодным распылением и горячей камерой - 0,011 г/час, в источнике с испарением рабочего вещества - 0,1 г/час. Расход цинка был 0,2 г/час, 0,02 г/час и 0,05 г/час соответственно.

Работа ионных источников на циклотроне

При подготовке ионных источников к работе на циклотроне были тщательно экранированы от высокочастотного напряжения узел установки распыляемого электрода и тигель с рабочим веществом /экраны на рисунках не показаны/. Из источника с катодным распылением ионизируемого вещества на циклотроне У-300 ускорены ионы Ca^{7+}_{40} /средний ток на радиусе 100 см - 3 мка/, Ca^{8+}_{40} /средний ток 0,4 мка/, а также ионы Ca^{8+}_{48} и Zn^{10+}_{66} из естественной смеси изотопов. Из источника с испарением рабочего вещества ускорены ионы: Si^{5+}_{28} /средний ток выведенного пучка достигал 1,5 мка/, P^{5+}_{31} /ток выведенного пучка - 20 мка/, Ca^{7+}_{40} /ток на радиусе 100 см - 3 мка/ и Zn^{10+} .

Измерение токов ионов цинка было затруднено тем, что в пучках ионов Zn^{10+}_{64} , Zn^{10+}_{66} всегда присутствовали в значительных количествах ионы S^{5+}_{32} , S^{5+}_{33} /4/. Измерение интенсивности и контроль состава таких пучков, проведенных на мишень, осуществ-

лялись при измерении энергии ионов с помощью кремниевого детектора.

Наибольший ток ионов Zn^{10+} - 10^9 ион/сек /0,02 мка/ из естественной смеси изотопов 66 был получен при использовании источника с испарением рабочего вещества.

Вакуумные условия в камере ускорителя в значительной мере определяют интенсивность пучков ионов высоких зарядностей, в особенности ионов Zn^{10+} . Мы измеряли зависимости ионных токов /выведенных пучков либо на конечном радиусе/ от давления в камере У-300. Данные измерений для Si^{5+} и Zn^{10+} в сравнении с такими же зависимостями для Ne^{4+} и Ar^{7+} приведены на рис. 5. Давление в объеме ускорителя регулировалось изменением скорости откачки.

В заключение следует сказать, что разработка источников многозарядных ионов, получаемых из твердых веществ, расширила диапазон ускоряемых частиц и позволила провести на циклотроне У-300 ряд физических исследований с пучками ионов фосфора, цинка и кремния.

Авторы выражают глубокую благодарность Г.Н.Флерову за постановку задачи и постоянное внимание к работе.

Литература

1. Ю.П.Третьяков, А.С.Пасюк, Л.П.Кулькина, В.И.Кузнецов. АЭ, 28, 423 /1970/. Препринт ОИЯИ, Р7-4477, Дубна, 1969.
2. Ю.П.Третьяков, Л.П.Кулькина, В.И.Кузнецов, А.С.Пасюк. ПТЭ, №5, 40 /1970/; Препринт ОИЯИ, Р7-5004, Дубна, 1970.
3. А.С.Пасюк, Е.Д.Воробьев, Р.И.Иванников, В.И.Кузнецов, В.Б.Кутнер, Ю.П.Третьяков. АЭ, 28, 75 /1970/. Препринт ОИЯИ, Р7-4488, Дубна, 1969.
4. А.С.Пасюк, Ю.П.Третьяков, Б.А.Загер. Препринт ОИЯИ, 7-6163, Дубна, 1971.
5. А.С.Пасюк, Ю.П.Третьяков, Й.Дуда, Р.И.Иванников, И.П.Кузнецова. Препринт ОИЯИ, 7-6344, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 октября 1972 года.

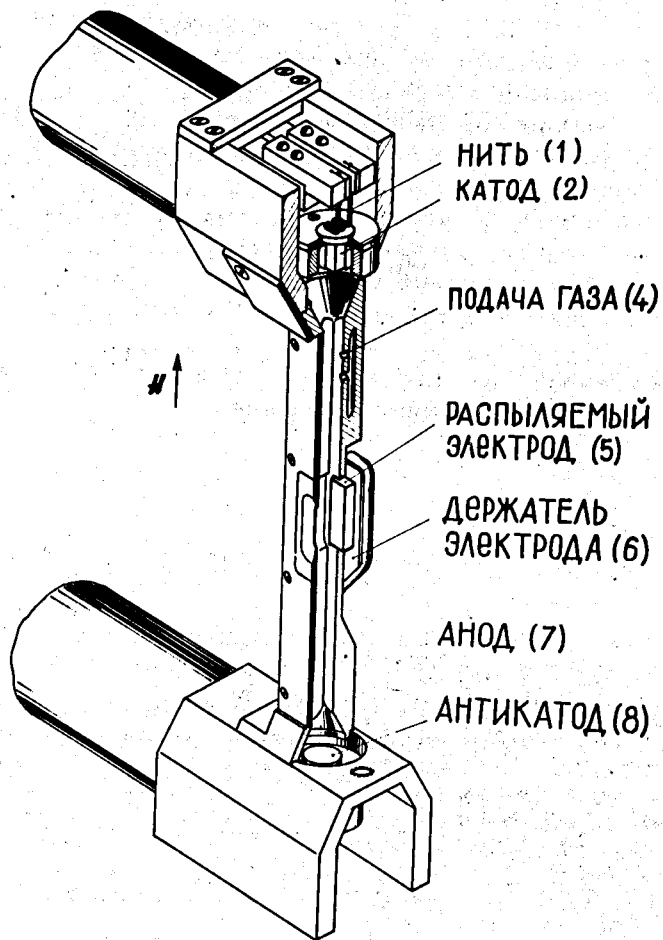


Рис. 1. Ионный источник с катодным распылением рабочего вещества.

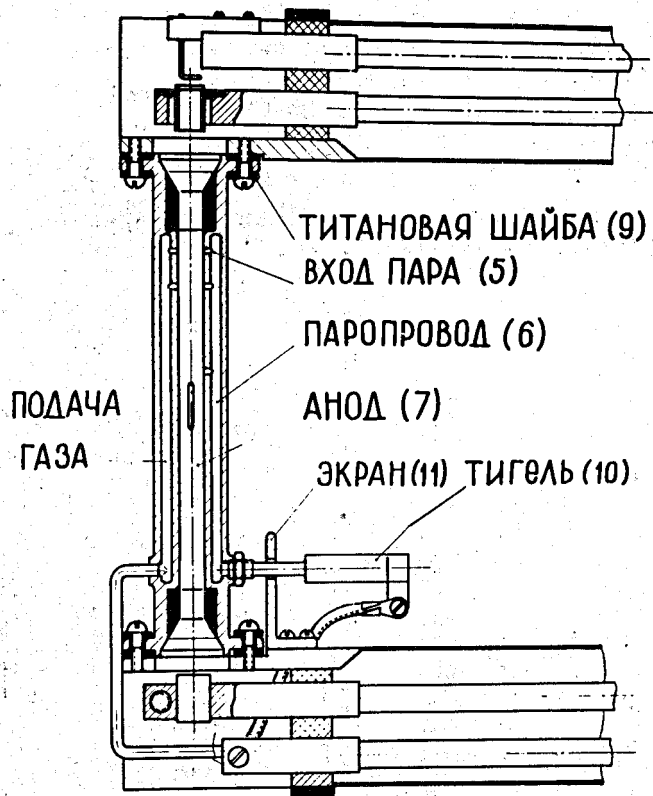


Рис. 2. Ионный источник с испарением рабочего вещества.

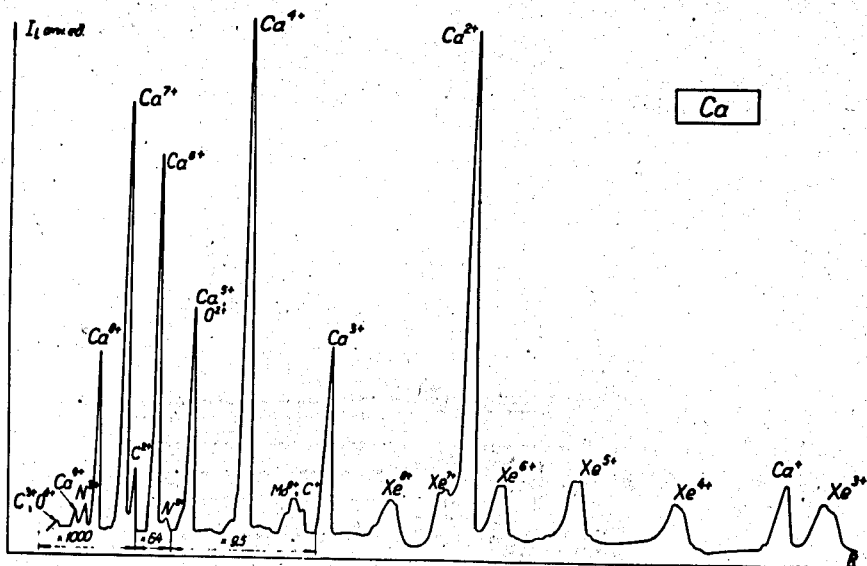


Рис. 3. Зарядовый спектр ионов кальция, полученный из источника с распылением рабочего вещества.

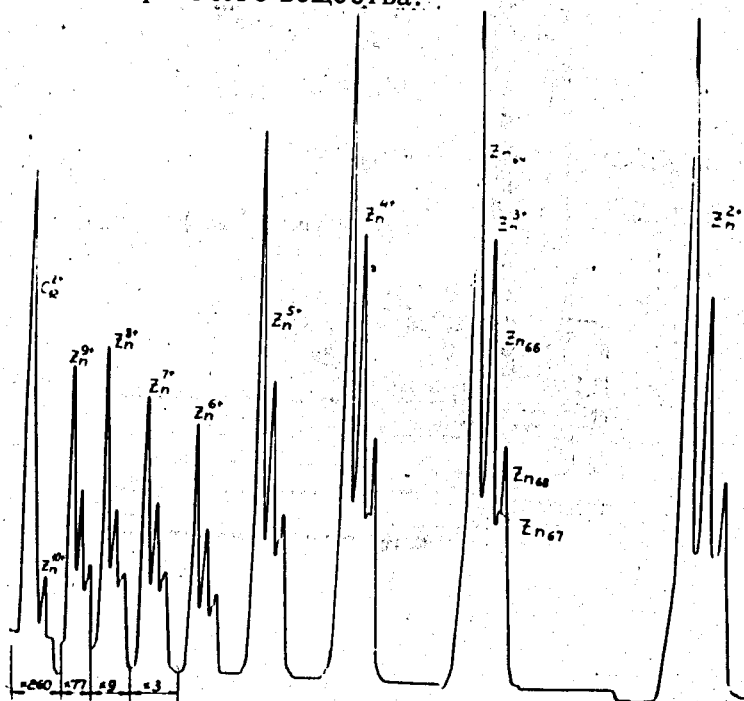


Рис. 4. Зарядовый спектр ионов цинка, полученный из источника с испарением рабочего вещества.

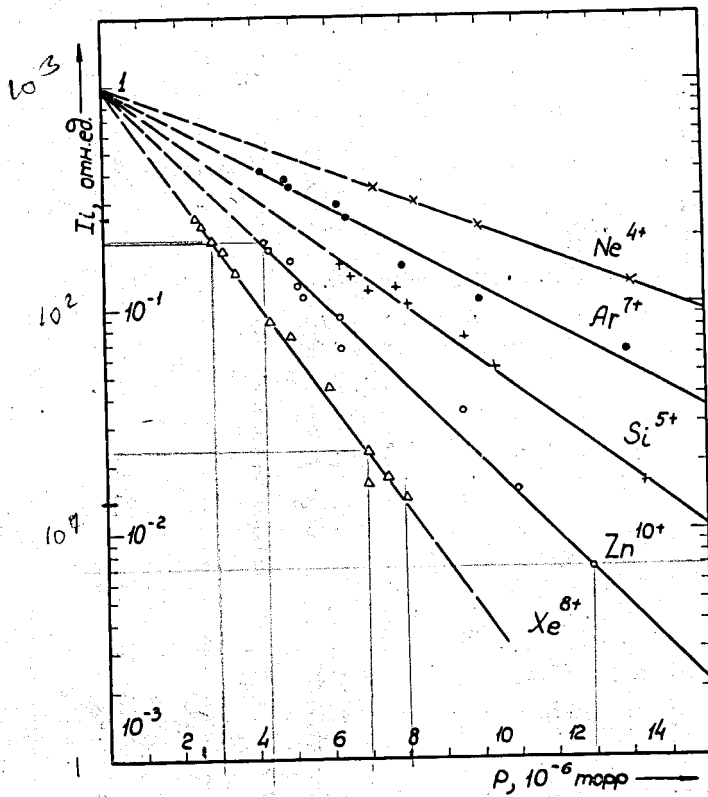


Рис. 5. Зависимость ионных токов на циклотроне У-300 от вакуума в камере ускорителя.

Т А Б Л И Ц А 1. Выход ионов из источника с катодным распылением рабочего вещества (камера охлаждаемая)

Иониз. вещество	Режим дуги U, в	I _{к, д}	Ток в импульсе раб. вещества по зарядам, ма									Ток ионов рабочего вещества ма	Вспомогат. газ		
			1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+			% от общ. тока	
Mg	660	7,5	18,4	84,9	31,8	3,0	0,4	0,06	0,005				140	77	Ar
Al	300	8,2	22,0	59,1	20,0	3,4	0,25	0,04					105	~100	Xe
Si	620	11	12,1	45,6	34,9	12,8	1,6						104	80	Xe
Ca	600	9,5	3,0	23	22	14	4,5	1,0	0,18	0,035			66	60	Xe
Ti	400	15,2	17,7	32	26,6	12,5	4,7	1,6	0,25	0,04			95	60	Ar
Cu	540	10,0	29,6	31,7	35,3	26	5,6	1,9					150	70	Ar
Zn	400	7,5	69,6	54,7	29,3	9,5	3,95	0,76	0,2	0,024			170	93	Xe
Mo	380	9,5	24,0	24,6	23,3	16,8	9,4	2,0	0,4				100	90	Xe
Ta	470	9,8		11,4	18,9	12,5	8,4	3,0					54	65	Ar
W	360	9,0	20	17,1	13,1	6,8	3,3	0,7	0,12				61	65	Xe
Re	580	20	14,9	13,7	12,4	14,3	8,6	6	0,9	0,6			86,5	66,5	Ar

2 Т А Б Л И Ц А 2. Выход ионов из источника с испарением рабочего вещества.

Иониз. элемент	Режим дуги U, в	I, а	Температура, град. тигля	Ток в импульсе по зарядам, ма												
				1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+			
Mg	650	10	640	7,6	43,5	24	4,4	0,46	0,02							
Si	600	9,5	600	23,9	38,6	26,8	16,4	2,6								
P	550	12	300	3,4	9,4	7,6	5,8	2,9	0,54	0,03						
Ca	700	9,5	720	7,8	32	33	29	12	3	0,69	0,17	0,01				
Zn	470	8,2	390		18	33	30	16	7,9	3,6	1,4	0,14	0,001			