

П-199

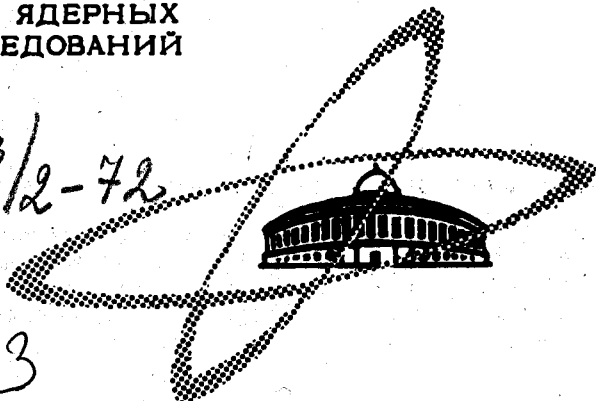
2/11-72

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

293/2-72

7 - 6163



6163

А.С.Пасюк, Ю.П.Третьяков, Б.А.Загер

АБСОЛЮТНО ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

ПОЛУЧЕНИЕ И УСКОРЕНИЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ
ИОНОВ ФОСФОРА И ЦИНКА

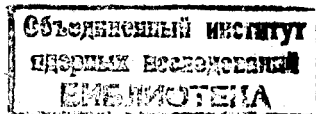
1971

7 - 6163

А.С.Пасюк, Ю.П.Третьяков, Б.А.Загер

ПОЛУЧЕНИЕ И УСКОРЕНИЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ
ИОНОВ ФОСФОРА И ЦИНКА

Направлено в АЭ



Для опытов по синтезу далеких трансурановых элементов и для решения других задач физики были разработаны ионные источники, позволяющие использовать рабочее вещество в твердой фазе. В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ опробовано несколько способов подачи твердых рабочих веществ в плазменные ионные источники: испарение вещества из тигля с внешним нагревателем ^{/1/}, катодное распыление вещества ^{/2/}, испарение вещества электронным пучком ^{/3/}. Наибольшие токи десятизарядных ионов цинка и пятизарядных ионов фосфора, которые нужны для опытов по синтезу 107 и 125 элементов, получены из источника, использующего отражательный дуговой разряд и подачу рабочего вещества испарением из тигля ^{/1/}. В конструкции и схеме питания источника были сделаны некоторые усовершенствования.

Анализ данных работы ^{/4/} показывает, что интенсивность токов различных многозарядных ионов I в зависимости от концентрации нейтральных частиц n в разрядной камере (в наших условиях n пропорционально количеству поступающего в разряд газа Q) можно описать выражением

$$I = a e^{-bn},$$

где a и b - постоянные, зависящие от ионизирующегося вещества и заряда иона. В свою очередь, поток пара в газоразрядную камеру Q пропорционален давлению пара в тигле p , которое связано с температурой T рабочего вещества известным соотношением

$$\log p = A - \frac{B}{T},$$

где A и B - постоянные, зависящие от испаряемого вещества.

Таким образом, видно, что зависимость выхода многозарядных ионов от температуры тигля очень сильная. Отсюда вытекают два требования: а) стабилизация тока нагрева тигля; б) малая тепловая инерционность тигля.

Конструкция источника

Конструкция источника представлена на рис. 1. Основное конструктивное отличие от источника, описанного в /1/, в узле подачи рабочего вещества. Вместо внешней коаксиальной печи применен прямой нагрев тигля током, который проходит непосредственно через стенки тигля (1). Между тиглем и газоразрядной камерой установлен экран из дюралюминия (2), отполированный до зеркального блеска. В этом варианте нагрева тепловая постоянная времени системы подачи паров рабочего вещества уменьшалась больше чем на порядок в сравнении с прежней конструкцией.

Питание тигля осуществлялось от регулируемого стабилизированного выпрямителя. Коэффициент стабилизации (не менее 0,2%) выбран из кривой упругости пара цинка от температуры /5/ и измеренной нами зависимости температуры тигля от тока нагрева.

Применение тигля с непосредственным нагревом и стабилизированным питанием существенно улучшило качество регулировки подачи рабочего вещества, что наряду с другими усовершенствованиями привело к

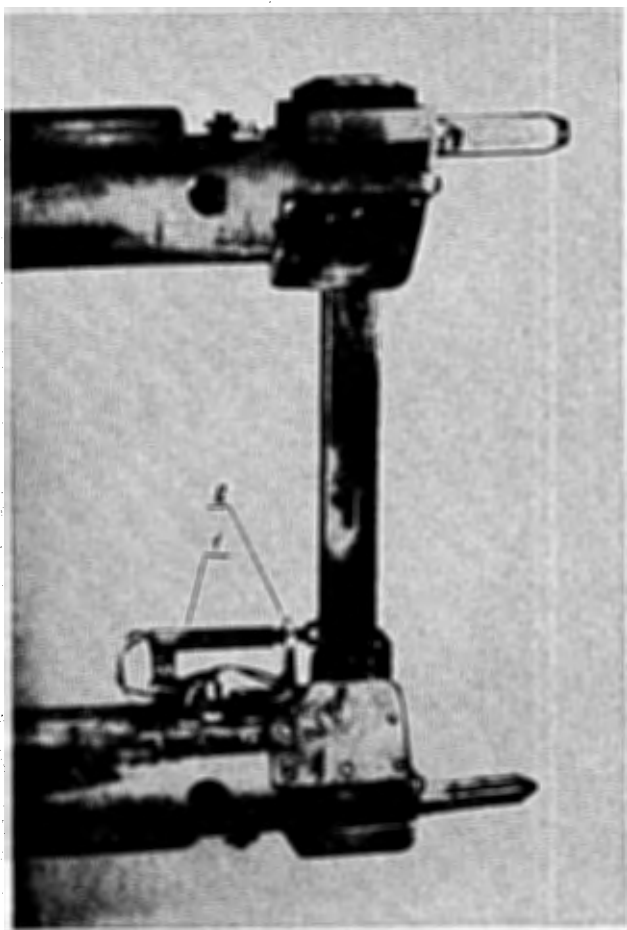


Рис. 1. Внешний вид источника. 1 - тигель с рабочим веществом; 2 - тепловой экран.

увеличению тока ускоренных ионов. Подача небольшого количества аргона ($\approx 0,1 \text{ см}^3/\text{мин}$) в область катода способствовала стабилизации работы источника.

Работа источников на циклотроне. Обсуждение результатов

1. Ускорение цинка. В качестве рабочего вещества в этом случае в тонкостенный (толщина боковой стенки 0,1 мм) тигель из нержавеющей стали загружался технический цинк. Средний расход цинка во время работы на циклотроне У-300 составлял 0,035 г/час.

Ток внутреннего пучка ионов Zn^{10+} не измерялся из-за значительно большего тока ионов Zn^{2+} , ускоренных на 5-й гармонике, и тока других ионов, величина которых превышала более чем на порядок ток ионов Zn^{10+} . Для измерения тока выведенного пучка был изготовлен неохлаждаемый коллектор ионов с сопротивлением изоляции $> 10^{10}$ ом. Сигнал снимался с сопротивления 10^9 ом и измерялся электрометром типа В2-5^{16/}. Измерение энергии ионов с помощью кремниевого детектора^{17/} показало, что в пучке присутствует значительное количество 5-зарядных ионов серы; при этом ток ионов S_{32}^{5+} нередко превышал ток ионов Zn_{64}^{10+} . В физических опытах был использован пучок ионов Zn_{66}^{10+} , где доля ионов S_{33}^{5+} сравнительно мала. Контроль состава пучка с помощью кремниевого детектора осуществлялся постоянно. Наибольший полученный ток ионов Zn_{66}^{10+} был равен 0,02 мка (10^9 частиц/сек) в следующем режиме источника: ток дуги в импульсе $I_d = 7$ а, напряжение в импульсе $U_d = 700$ в, длительность импульса $\tau = 1$ мсек, частота $f = 180$ гц, температура тигля $T^\circ = 400^\circ\text{C}$.

Принимая во внимание то обстоятельство, что перезарядка ионов Zn^{10+} в начале ускорения может быть значительной, мы измерили зависимость тока ионов Zn_{66}^{10+} от вакуума в камере ускорителя и те же зависимости для ионов Ar^{7+} и Ne^{4+} . Давление в вакуумной камере

регулировалось изменением скорости откачки. Полученные кривые приведены на рис. 2, из которого видно, что уменьшение интенсивности пучка с повышением давления в камере идет быстрее у ионов с большим зарядом. Оценка усредненного сечения процессов, приводящих к изменению заряда по формуле^{/8/}:

$$I/I_0 = \exp[-10^{27} p \int_0^t \sigma(\beta) \beta dt]$$

($\beta = \frac{v}{c}$, v - скорость иона, t - время ускорения, сек, p , торр - давление в камере ускорителя) дает для цинка величину $\sigma \approx 0,8 \cdot 10^{-16}$ см². Для Ar^{7+} и Ne^{4+} эта величина соответственно в 2 и 3 раза меньше.

2. Ускорение фосфора. Ионы фосфора были получены при использовании в качестве рабочего вещества красного фосфора. Средний расход фосфора во время работы на циклотроне - 0,13 г/час.

Экран (рис. 1, поз. 2), защищающий тигель от нагрева излучением горячей газоразрядной камеры, совершенно необходим при работе на фосфоре. Отсутствие или недостаточная полировка экрана приводит к перегреву тигля, что увеличивает подачу фосфора в разряд, и выход пятизарядного фосфора падает. На рис. 3 представлен зарядовый спектр ионов фосфора, полученный на стенде ионных источников (методика записи таких спектров описана в работах^{/4,9/}). На циклотроне ток выведенного пучка ионов P^{5+} , измеренный интегратором слабых токов^{/10/}, составлял 20 мка. Типичный режим работы: $I_0 = 12$ а, $U_0 = 550$ в, $\tau = 1,5$ мсек; $f = 180$ гц, $T^\circ = 270-320^\circ C$. Было необходимо постепенное повышение температуры тигля во время работы, что связано с уменьшением количества вещества в тигле, а также с тем, что используемый фосфор представлял собой смесь различных форм, отличающихся по скорости испарения при данной температуре.

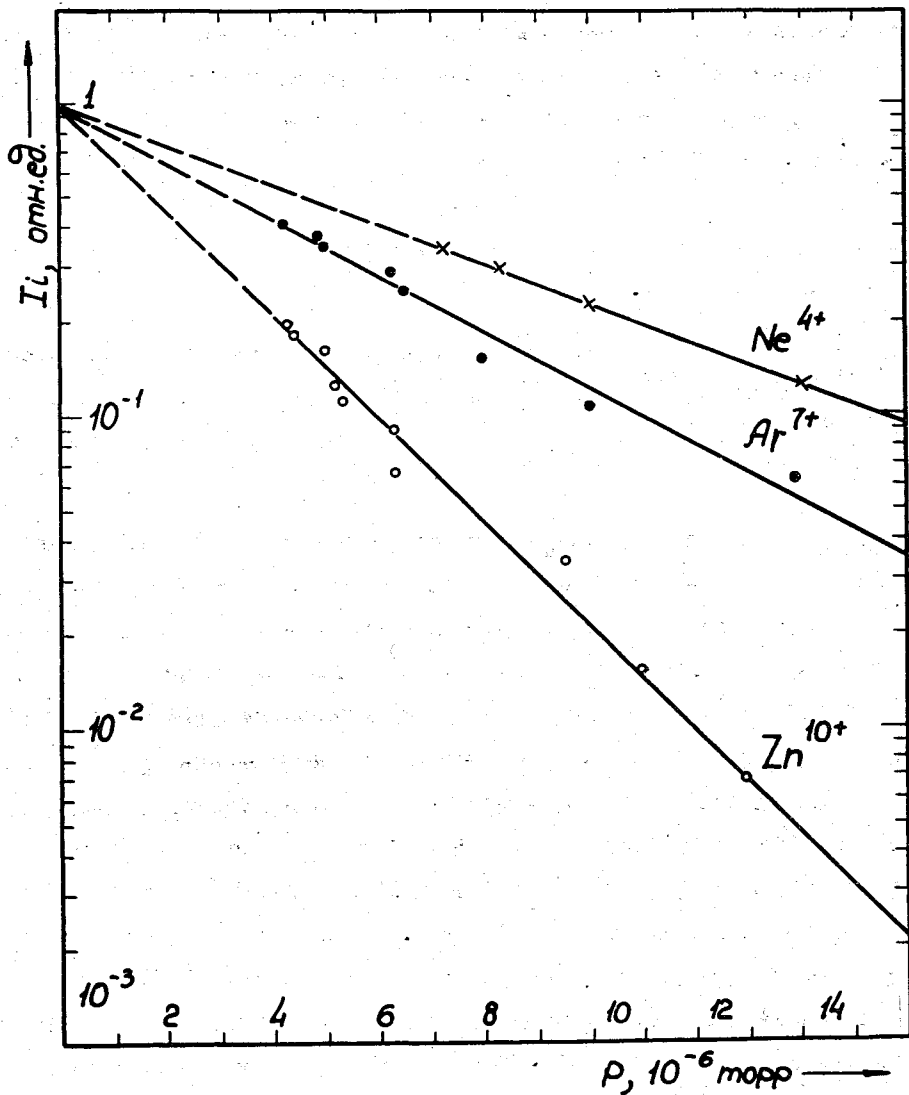


Рис. 2. Зависимость ионных токов, выведенных из циклотрона У-300, от вакуума в камере ускорителя.

Источник ионов, который описан в настоящей работе, в течение нескольких месяцев эксплуатируется на циклотроне У-300 ОИЯИ. Мы полагаем, что в источнике такой конструкции можно получить многозарядные ионы веществ и их соединений, для испарения которых необходим нагрев тигля и камеры до температур не выше 1000°C , хотя, разумеется, использование новых рабочих веществ, в особенности химических соединений, имеет свои особенности и сопряжено с определенными технологическими трудностями.

В заключение авторы выражают благодарность академику Г.Н. Флерову за постоянный интерес к работе и обсуждение полученных результатов, А.А. Плеве за помощь в проведении измерений на циклотроне, механикам В.М. Плотко, С.Г. Чебоненко и А.А. Еропкину за сборку ионных источников, И.П. Кузнецовой за помощь в стендовых испытаниях источника,

Литература

1. А.С. Пасюк, Е.Д. Воробьев, Р.И. Иванников, В.И. Кузнецов, В.Б. Кутнер, Ю.П. Третьяков. Препринт ОИЯИ Р7-4488, Дубна, 1969; АЭ, 28, 75 (1970).
2. Ю.П. Третьяков, А.С. Пасюк, Л.П. Кулькина, В.И. Кузнецов. Препринт ОИЯИ Р7-4477, Дубна, 1969; АЭ, 28, 423 (1970).
3. А.И. Владимиров, В.А. Саенко, Ю.П. Третьяков. Препринт ОИЯИ Р13-5559, Дубна, 1971.
4. А.С. Пасюк, Ю.П. Третьяков, С.К. Горбачев. Препринт ОИЯИ 7-3370, Дубна, 1967; АЭ, 24, 21 (1968).
5. M.von Ardenne, Tabellen der Elektronenphysik, Ionenphysik und Ultramikroskopie, Bd. 11, S.654 VEB Deutscher Verlag der Wissenschaft. Berlin, 1956.
6. "Радиоизмерительные приборы", Каталог-справочник НИИ ТЭИР, Москва - 1964, стр. 10.

7. Х. Кекк, В.Л. Михеев, А.А. Плева, Б.В. Фефилов. ПТЭ, №4, 27 (1963).
8. A. Giorso, R.M. Main, B.H. Smith, IEEE Transactions on Nucl. Science. NS-13, N^o 4, 280 (1966).
9. А.С. Пасюк, Го Ци-цянь, Ю.П. Третьяков. Препринт ОИЯИ 1523, Дубна, 1964.
10. А.А. Курашов, А.Ф. Линеv. ПТЭ, №2, 70 (1957).

Рукопись поступила в издательский отдел
13 декабря 1971 года.

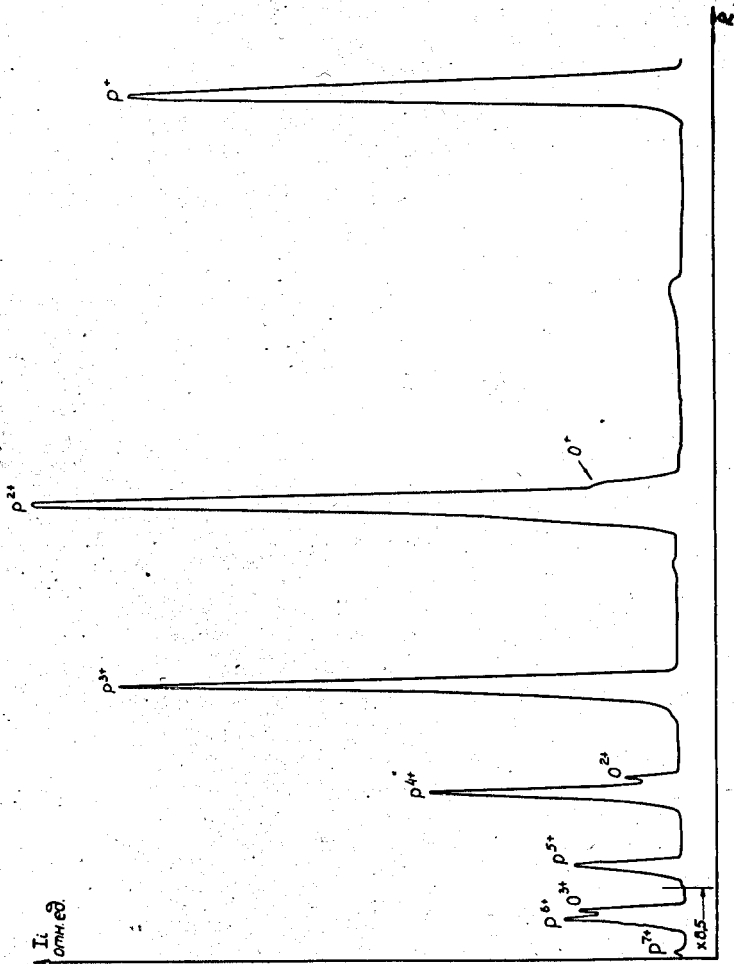


Рис. 3. Зарядовый спектр ионов фосфора, полученных на стенде. R - положение коллектора ионов. При записи пиков P⁶⁺, P⁷⁺ и O³⁺ усиление увеличено в 8,5 раза. В оптимальном режиме разряда получены в импульсе токи ионов фосфора: P⁺ - 3,4 ма, P²⁺ - 9,4 ма, P³⁺ - 7,6 ма, P⁴⁺ - 5,8 ма, P⁵⁺ - 2,9 ма, P⁶⁺ - 0,54 ма, P⁷⁺ - 0,08 ма.