

С 345Н

П-199

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Анн. Журнал, 31/III - 67
1968, т. 24, в. 1, с. 21-

- 25

7 - 3370



А.С. Пасюк, Ю.П. Третьяков, С.К. Горбачев

АБСОЛЮТНО ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ
АРГОНА, КРИПТОНА, КСЕНОНА И ВОЛЬФРАМА
ИЗ ДУГОВОГО ИСТОЧНИКА НА СТЕНДЕ

1967.

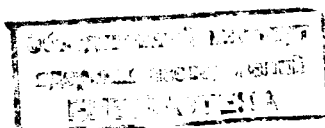
7 - 3370

5226/1 мр.

А.С. Пасюк, Ю.П. Третьяков, С.К. Горбачев

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ
АРГОНА, КРИПТОНА, КСЕНОНА И ВОЛЬФРАМА
ИЗ ДУГОВОГО ИСТОЧНИКА НА СТЕНДЕ

Направлено в журнал "Атомная энергия"



Целью настоящей работы явилось выяснение возможности получения ионов Ag , Kr , Xe и W высоких зарядностей в наиболее эффективном источнике многозарядных ионов - циклотронном источнике с подогревным катодом, использующем осциллирующий дуговой разряд^{1,2/}.

Методика и условия эксперимента

Исследования проводились на стенде ионных источников Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ^{3/} (фокусировка ионов после поворота на 180° в однородном магнитном поле). Стенд был реконструирован, в результате были заменены вакуумная камера стенда, дуант и механизм перемещения коллектора. Новая конструкция вакуумной камеры представляет собой два полуцилиндра, уплотненные на верхнем и нижнем полюсных наконечниках электромагнита стенда (типа СП-57Б). Это позволило шиммировать межполюсный зазор и увеличить максимальный диаметр орбиты ионов и диаметр дуанта до 800 мм и тем самым увеличить диапазон изменения отношения массы иона к заряду A/Z , т.к. минимальный радиус орбиты остался прежним. Ходовой винт, перемещающий коллектор ионов, в новой конструкции размещен внутри вакуумной камеры, а двигатель, вращающий винт, и датчики положения коллектора компактно разместились снаружи.

Во время экспериментов напряженность магнитного поля, в котором работал источник и производился анализ, составляла 4 кэ; напряжение, вытягивающее ионы из разряда и ускоряющее их, было 15 кв. Давление в вакуумной камере стонда составляло $(1 \div 2) \cdot 10^{-5}$ тор. В опытах по определению зависимости выхода ионов от расхода газа оно доходило до $7 \cdot 10^{-5}$ тор. Размер эмиссионной щели источника 15 x 1 мм. Расстояние от эмиссионной щели до отсасывающего ионным электрода - 6 мм. Источник работал в импульсном режиме. Частота посылок 100 гц, длительность импульса 1 мсек.

Для получения ионов аргона, криптона и ксенона в источник подавались естественные смеси изотопов соответствующих инертных газов промышленного производства. При получении ионов вольфрама в качестве рабочего газа использовались пары гексафторида вольфрама WF_6 . Изучалась также возможность ионизации вольфрама, поступающего в разряд в результате распыления катода и антикатода.

Результаты экспериментов и обсуждение

Были измерены зависимости выхода многозарядных ионов (м.э.и.) от тока и напряжения разряда и количества газа, подаваемого в источник, - параметров, оказывающих наибольшее влияние на выход многозарядных ионов.

Зависимости выхода ионов различных зарядностей от количества рабочего газа, подаваемого в разряд, показаны на рис. 1.

По характеру кривые не отличаются от измеренных ранее для азота и других газов^{/1-4/}, однако при работе на тяжелых газах (Ar, Kr) эти кривые круче и оптимальный расход газа (или минимальный, необходимый для поддержания стабильного горения дуги) меньше по абсолютной величине. Причем чем выше зарядность иона, тем круче подъем кривой при уменьшении расхода газа. Быстрый спад абсолютного и относительного выхода многозарядных ионов с увеличением расхода газа вызван в основном двумя причинами: во-первых, с увеличением концентрации частиц в разрядной камере понижается температура плазменных электронов, причем это понижение температуры заметнее в случае взаимодействия с тяжелыми многоэлектронными атомами, так как увеличивается сечение взаимодействия. Одновременно, во-вторых,

уменьшается время между столкновениями иона с нейтральными атомами и ионами зарядности, концентрация которых во много раз превышает концентрацию высокозарядных ионов.

В работе^{/5/} указывается, что уменьшение выхода многозарядных ионов с увеличением расхода газа может быть следствием перераспределения разрядного тока в сторону увеличения ионной составляющей. Меньшая крутизна зависимости выхода многозарядных ионов ксенона от расхода газа объясняется, очевидно, наличием большого количества вольфрама, поступающего в разряд в результате катодного распыления^{/6/}. Абсолютная величина расхода ксенона значительно меньше, чем более легких газов, поэтому относительное содержание вольфрама весьма значительно и уменьшение подачи ксенона мало меняет концентрацию всех частиц, участвующих в разряде.

На рис. 2 представлены кривые зависимостей выхода многозарядных ионов от напряжения на дуге, пронормированные к максимальным токам. Видно, что с увеличением заряда иона увеличивается оптимальное для данного заряда значение напряжения на разряде. На рис. 3 показаны кривые зависимостей выхода ионов аргона различных зарядностей от тока дуги. Здесь также заметно увеличение оптимальных значений тока дуги с увеличением заряда иона, хотя и слабее, чем в случае напряжения. На других газах наблюдаются аналогичные зависимости выхода многозарядных ионов от тока и напряжения, имеющие максимумы выхода ионов. Положение максимума меняется во время работы источника, нет повторяемости и после переборки источника (замены вышедших из строя электродов).

Основной причиной уменьшения тока многозарядных ионов после максимума как при увеличении напряжения, так и при увеличении тока дуги является появление в разряде большого количества распыленных атомов катода и антикатода. Концентрация их растёт пропорционально току и квадрату напряжения на дуге^{/6/}. При увеличении мощности дуги увеличивается число частиц в разряде, а это, как видно из рис. 1, приводит к уменьшению выхода многозарядных ионов.

Рост числа распыленных атомов катода и антикатода с увеличением напряжения дуги хорошо виден из табл. 1, где приводятся токи ионов вольфрама и ксенона при двух режимах дуги. При этом количество ксенона, подаваемого в разряд, одинаково в обоих режимах.

Таблица 1

Параметры дуги		Род иона	Ток иона в импульсе, ма					
Ток, а	Напряжение, в		+ 3	+ 4	+ 5	+ 6	+ 7	+ 8
6	500	Xe	13	0,8	11	10	7,8	5,7
		W	ионов W на порядок меньше, чем Xe.					
5	900	Xe	1,9	0,4	?	?	0,14	
		W		3,4	9,2	10,6	5,4	1,3

Примечание: Знак (?) означает, что большие токи ионов W не позволяют измерить величину тока ионов Xe.

Сильное уменьшение выхода всех ионов ксенона в режиме с большим напряжением можно объяснить сорбцией атомов ксенона на атомах вольфрама, оседающих на стенках газоразрядной камеры в виде рыхлого пористого слоя.

Второй причиной спада интенсивности многозарядных ионов может быть уменьшение электронной составляющей тока дуги при увеличении напряжения разряда.

Оптические измерения, проведенные на таком источнике, показали, что температура плазменных электронов понижается с появлением в разряде атомов распыленных электродов^{/7/}. Это также приводит к уменьшению выхода многозарядных ионов.

На рис. 4 показан относительный выход ионов различных зарядностей для аргона, криптона и ксенона, измеренный в режиме, когда выход ионов наивысших зарядностей был наибольшим по абсолютной величине. Для сравнения приведены данные по относительному выходу ионов из источника многозарядных ионов с холодными катодами из работ^{/8/} (для аргона) и^{/10/} (для криптона и ксенона). На рисунке приведены параметры дуги разряда и токи ионов наивысших зарядностей в импульсе.

В табл. 2 дан ток в импульсе ионов вольфрама различных зарядностей (в ма) при двух способах подачи вольфрама в разряд: в виде паров WF₆ либо в виде атомов, вылетающих при распылении катода и антикатода. В первом случае суммарный ток ионов фтора в шесть раз превышает ток всех ионов вольфрама.

Таблица 2

Режим дуги		Рабочий газ	Ток иона вольфрама в импульсе, ма								
Ток, а	Напряж., в		+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10	+11	+12
6,5	500	WF ₆	1,7	3,2	5,9	4,8	2	1,6	0,4	0,27	0,05
5	900	Xe	3,4	9,2	10,6	5,4	1,3	0,32	0,05		

Для наглядности отметим, что средний ток ионов из аналогичного источника на циклотроне У-300 ОИЯИ, измеренный на внутреннем пучке на радиусе 100 см, составляет 1-1,5 мка.

Результаты проведенных экспериментов позволяют заключить, что и с источника с подогранным катодом можно получать сравнительно большие токи сверхтяжелых ионов высоких зарядностей.

Основной причиной, ограничивающей выход многозарядных ионов из источника при увеличении мощности в дуге, является поступление в разрядную камеру источника частиц материалов электродов, разрушающихся во время разряда (катод и антикатод).

В заключение мы хотим поблагодарить Г.Н.Флерова за большой интерес к экспериментам и за участие в обсуждении полученных результатов. Выражаем благодарность В.П.Ковалеву за операторскую помощь на стенде, А.А.Еропкину за подготовку источников и стенда к работе, Н.П.Романову за помощь в расчётах. Мы также благодарим О.Д.Маслова и В.Я.Выропаева за приготовление соединения WF₆ и установки для подачи его в ионный источник.

Л и т е р а т у р а

1. П.М.Морозов, Б.Н.Маков, М.С.Иоффе. Ат.энергия, II, 272 (1957).
2. А.С.Пасюк, И.А.Шелаев, Го Ци-цянь, Ю.П.Третьяков. ПТЭ, №5, 23 (1963).
3. А.С.Пасюк, Го Ци-цянь, Ю.П.Третьяков. Препринт ОИЯИ, 1523, Дубна, (1964).
4. А.С.Пасюк, Го Ци-цянь. ПТЭ № 1, 28 (1965).
5. Ю.Д.Пигаров, П.М.Морозов. ЖТФ, т. XXXI, в. 4, 476 (1961).
6. А.С.Пасюк, Ю.П.Третьяков, В.Станку. ПТЭ, № 3, 42 (1965).
7. Н.П.Романов, А.С.Пасюк. Препринт ОИЯИ, 7-3090, Дубна, 1966.
8. C.F.Anderson, K.W.Ehlers, RSI 27, № 10, 809 (1956).
9. A.Ghiorso, R.M.Main, B.H.Smith, Препринт URSL - 16839 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел
2 июня 1967 года.

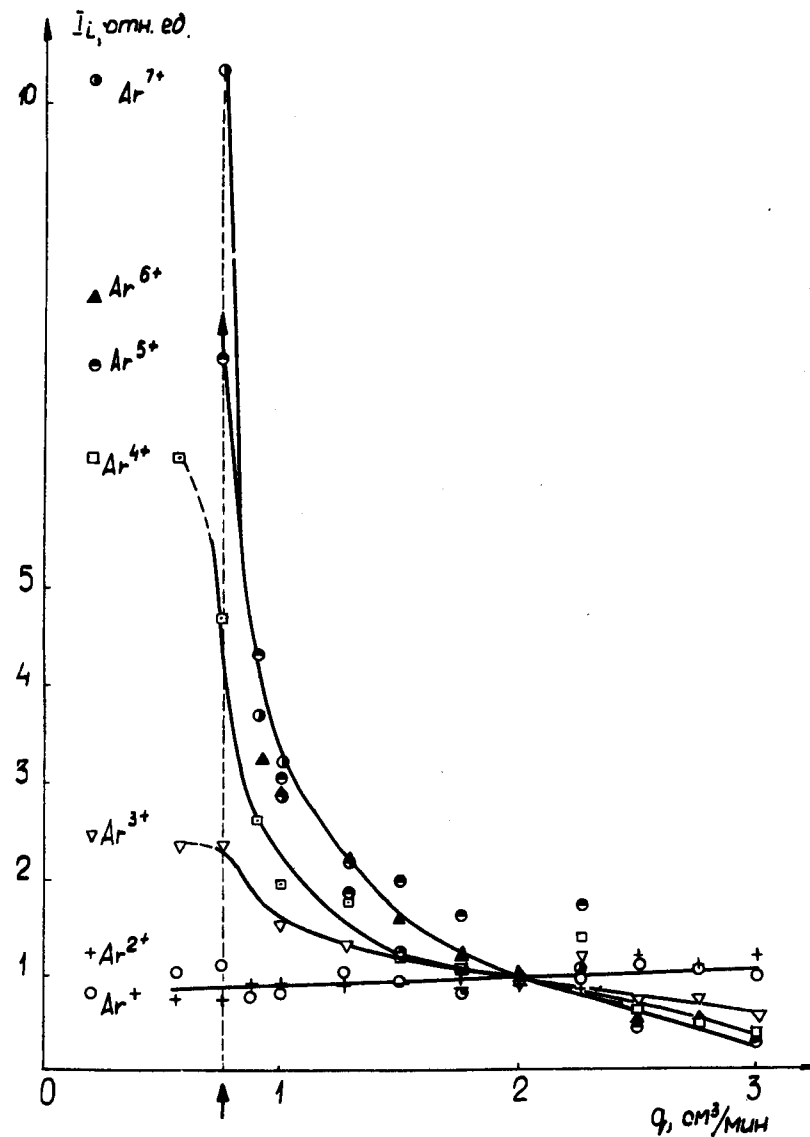


Рис. 1а Выход ионов Ar как функция расхода газа. Кривые проноормированы к токам в точке $q = 2 \text{ см}^3/\text{мин}$. Режим разряда $I_d = 12,5 \text{ а}$, $U_d = 600 \text{ в}$.

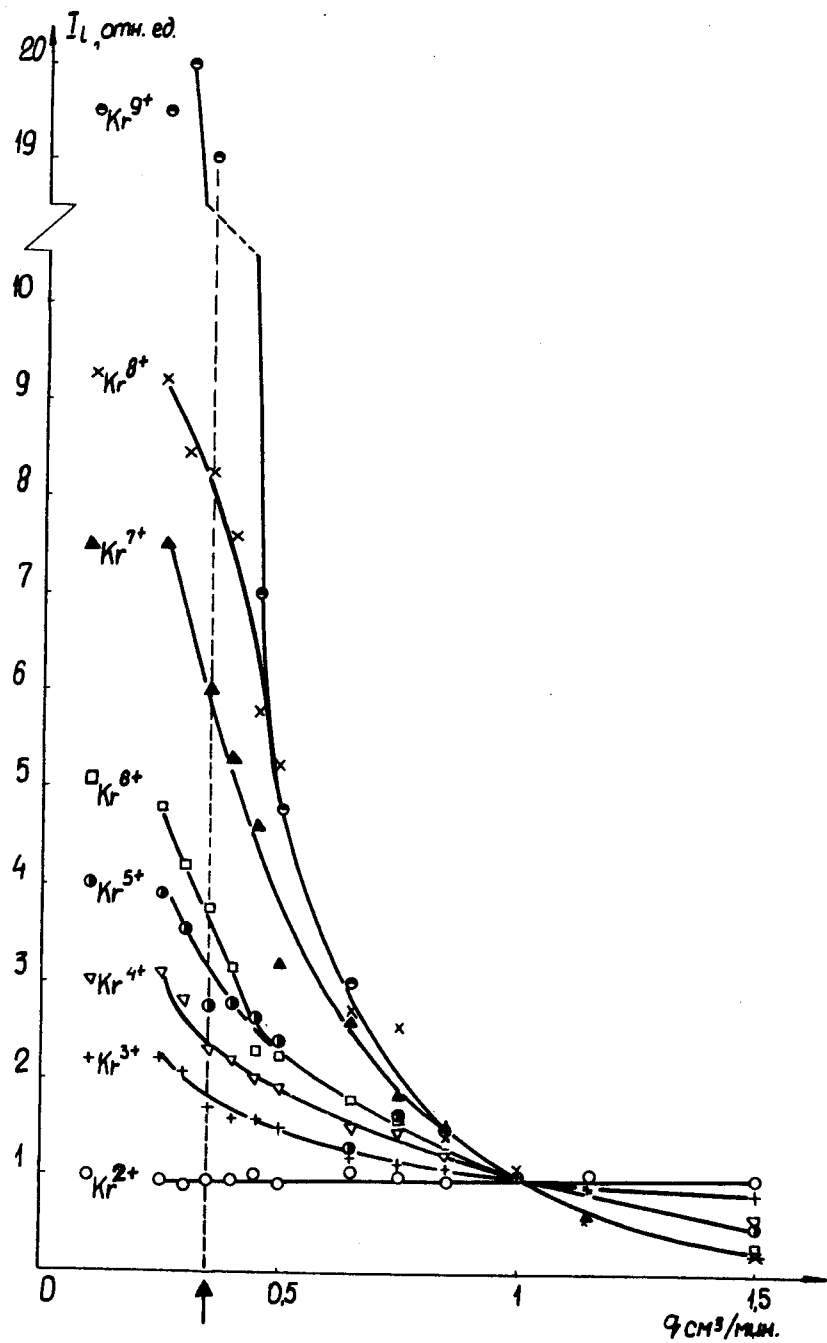


Рис. 16. Выход ионов Kr как функция расхода газа. Кривые проинормированы к токам при $q=1\text{см}^3/\text{мин}$. Режим разряда: $I_d=4,8$ а; $U_d=600$ в.

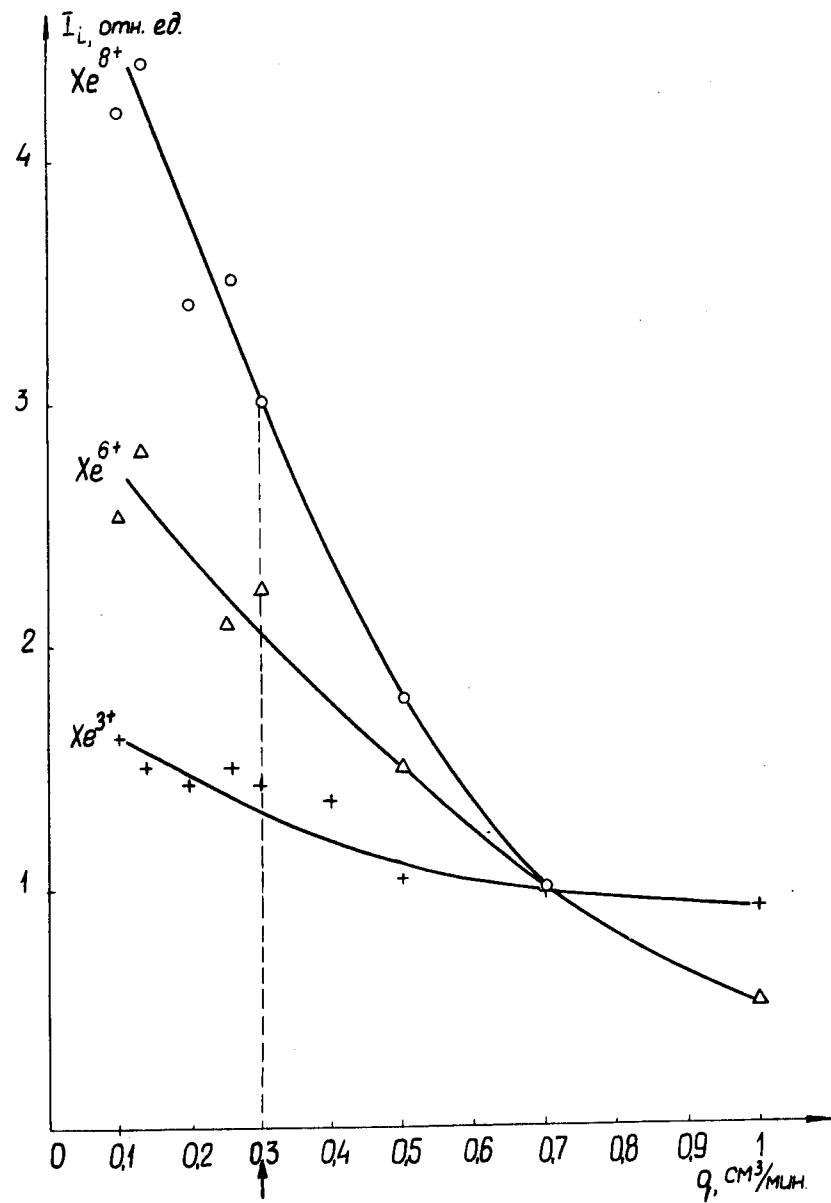


Рис. 1в. Выход многозарядных ионов Xe как функция расхода газа. Кривые проинормированы к токам при $q=0,7\text{см}^3/\text{мин}$. Режим разряда: $I_d=5$ а; $U_d=450$ в. Стрелками отмечен оптимальный расход газа.

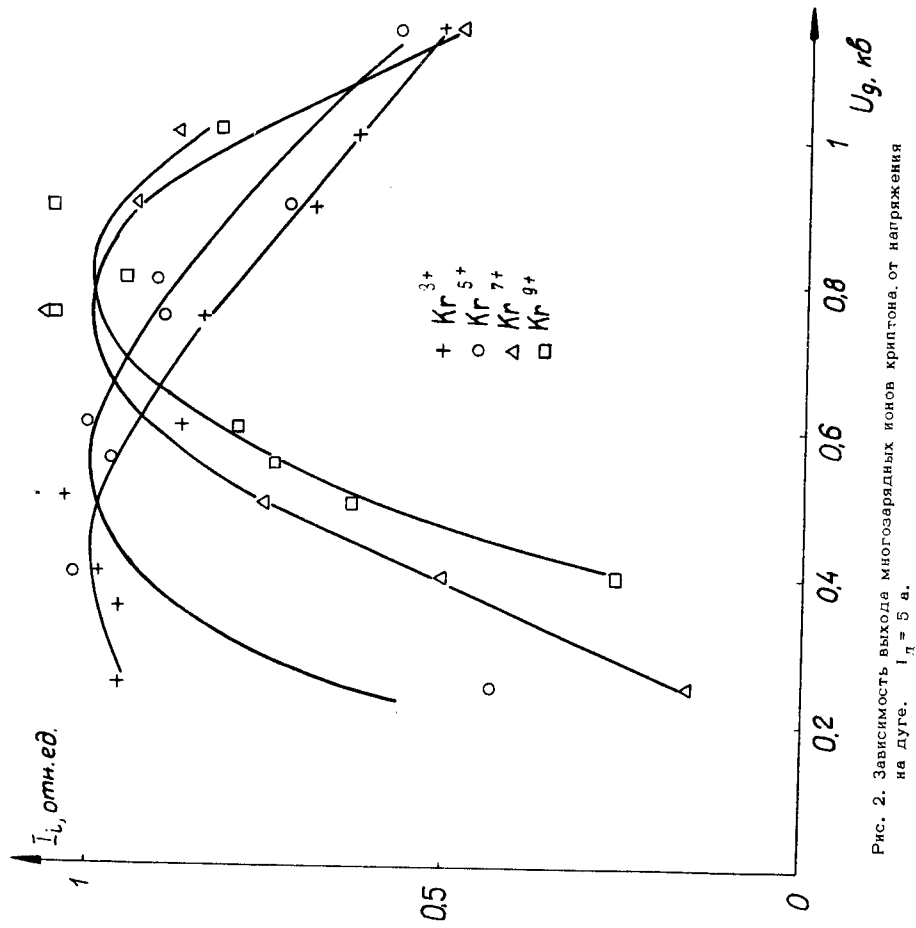


Рис. 2. Зависимость выхода многозарядных ионов криптона от напряжения на дуге. $I_d = 5$ а.

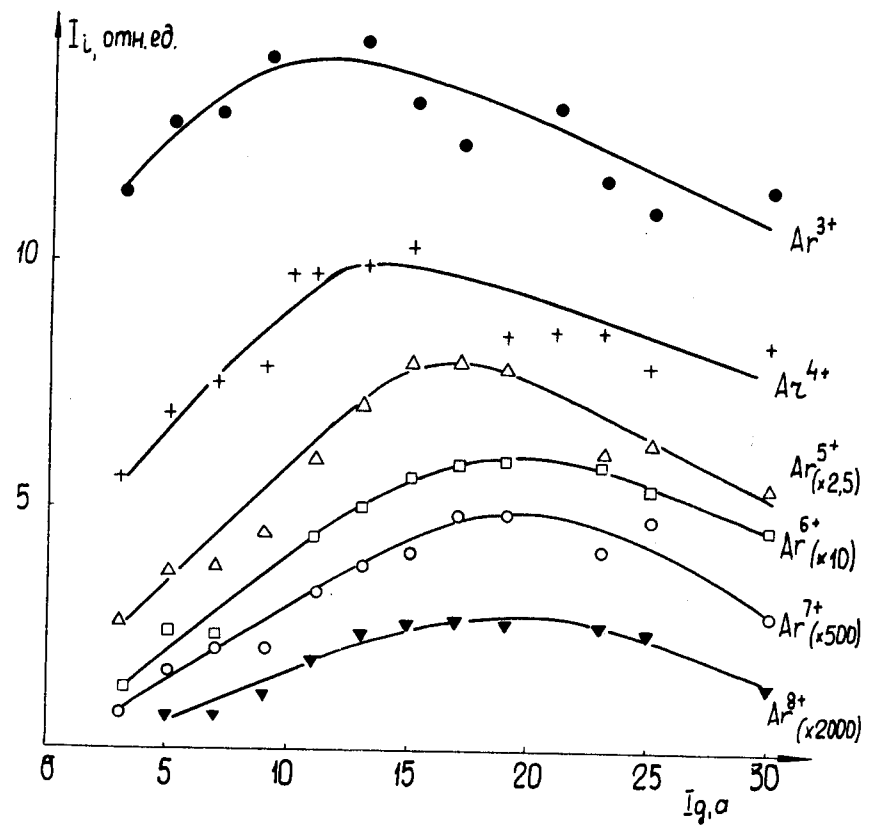


Рис. 3. Зависимость выхода многозарядных ионов аргона от тока дуги. $U_{дл} = 550$ в.

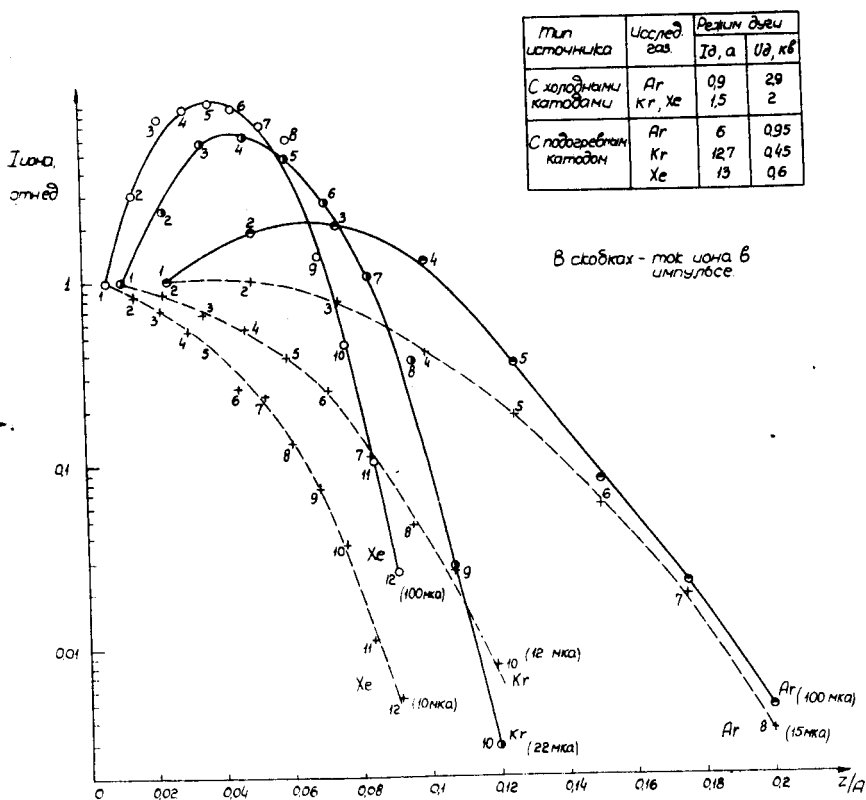


Рис. 4. Относительный выход ионов аргона, криптона и ксенона по зарядностям. Кривые пронормированы к току однозарядных ионов. Цифры на кривых указывают заряд ионов. Указано абсолютное значение тока в импульсе для ионов Ar^{n+} , Kr^{10+} и Xe^{12+} . Сплошные кривые - для источника с подогреваемым катодом; пунктирные - для источника с холодным катодом.