

7523

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

А.С. Пасюк, Го Ци-цянь, Ю.П. Третьяков

1523

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ АЗОТА
ИЗ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА НА СТЕНДЕ

Дубна 1964

А.С. Пасюк, Го Ци-цзянь, Ю.П. Третьяков

1523

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ АЗОТА
ИЗ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА НА СТЕНДЕ

Направлено в ПТЭ

Дубна 1964

В двух предыдущих работах /1,2/ приводились результаты испытаний импульсного ионного источника с осциллирующей электроном вдоль оси разряда на циклотронах. В настоящей работе источник такого же типа исследовался на стенде. Если мощности, питающие ионный источник на стенде, можно было применять такие же, как на циклотронах, то другие условия /напряженность магнитного поля, отсасывающее напряжение/ были иные. Преимущества стендовых испытаний в том, что можно наблюдать токи ионов различной зарядности при одинаковых условиях. Ниже приводится описание стенда и некоторые результаты, полученные при исследовании на нем ионных источников.

Описание установки

Установка для исследования ионного источника включает в себя следующее оборудование:

а/ электромагнит;

б/ вакуумную камеру с системой откачки и системой анализа ионов;

в/ высоковольтный выпрямитель со стабилизацией напряжения для экстракции ионов;

г/ ионный источник с электрической схемой питания его.

В установке используется типовой электромагнит, диаметр полюсов которого равен 105 см. Максимальная напряженность магнитного поля в центре /зазор 380мм/ равна 6000 э при номинальном токе в катушках электромагнита.

На рис. 1 схематически представлена вакуумная камера /12/ и все другие устройства, закрепленные на ней.

Камера представляет собой латунную трубу с внутренним диаметром 370 мм. В зазор магнита она устанавливается так, что ее ось и ось полюсов магнита взаимно перпендикулярны. Весь вакуумный объем откачивается одним диффузионным насосом /22/ со скоростью в 5000 л/сек. Без подачи газа в ионный источник вакуум в камере достигал $8 \cdot 10^{-6}$ мм Hg. Во время работы источника вакуум в объеме был $2 \div 6 \cdot 10^{-5}$ мм Hg.

Анализ основан на принципе фокусировки ускоренных ионов при повороте на 180° в однородном магнитном поле. Система анализа устроена следующим образом. Через цилиндрический фарфоровый изолятор /19/ вводится в вакуумную камеру

шток /15/, на котором крепится высоковольтный электрод в виде дуанта /14/. Вытягивающий молибденовый электрод /5/, закрепленный на дуанте, имеет шель размером $15 \times 1,2$ мм. Вдоль открытой стороны дуанта перемещается молибденовая пластина /13/ со шелью размером 35×1 мм, через которую и проходят сфокусированные ионы в коллектор /1/. Заключенный в экран коллектор крепится к пластине /13/ через изоляторы /2/. Пластина /13/ закреплена на стержне /20/, который через изолятор /6/ связан с винтом /11/. Винт приводится во вращение электродвигателем /7/, ось которого фрикционно связана с маховиком /10/, закрепленным на винте. При вращении винта коллектор перемещается вдоль дуанта и регистрирует ионы с разным A/Z . С винтом связан сельсин-датчик /8/ и потенциометр /9/. Сельсин-приемник установлен в самописце типа ЭПП-09 для протягивания бумажной ленты. Передаточное число редуктора самописца подобрано так, что перемещение коллектора на 1 мм соответствовало перемещению бумажной ленты самописца также на 1 мм.

Угол поворота подвижного контакта потенциометра /8/ пропорционален величине перемещения коллектора. С потенциометра можно снимать напряжение и подавать на вертикальные пластины осциллографа, при этом горизонтальное смещение луча будет пропорционально смещению коллектора. При подаче сигнала с коллектора на вход усилителя осциллографа на его экране будет видна осциллограмма величин токов различных ионов. Минимальное время движения коллектора между крайними точками составляет около 30 секунд. Если трубка осциллографа имеет большое время послесвечения, то на ее экране будет видна вся спектрограмма ионов. Для настройки это очень удобно. Можно фотографировать осциллограмму и определять принадлежность пиков различным ионам и измерять ток ионов. При этом необходимо учитывать нелинейность трубки осциллографа для разных участков ее экрана. Такого недостатка нет при записи спектра ионов на ленту самописца. Однако при записи самописцем скорость перемещения коллектора должна быть значительно меньше, из-за большого времени успокоения подвижной системы самописца.

Электрическая блок-схема анализатора представлена на рис. 2. Ускоряющее напряжение получается от высоковольтного выпрямителя, собранного по схеме двухполупериодного выпрямителя с удвоением напряжения. Применена электронная стабилизация напряжения. Хотя высоковольтный выпрямитель мог обеспечить стабилизированное напряжение до 35 кв, работа проводилась обычно при $14 \div 15$ кв на дуанте. Сопротивление R_3 является нагрузочным между импульсами работы источника. При постоянном режиме работы источника в сопротивлении R_3 нет необходимости, а при работе в импульсном режиме без него стабилизация работает значительно хуже.

Извлеченные из источника /4/ ионы движутся в дуанте /1/ и попадают в коллектор /2/, заключенный в экран /3/. Сигнал выделяется на аттенюаторе / R_4 /

и поступает на вход балансного каскада, а с него — на самописец. Сопротивления R_1 и R_2 представляют собой делитель, с которого снимается сигнал на вход усилителя стабилизатора напряжения. Конденсатор C_1 служит для уменьшения времени нарастания входного сигнала.

Из-за того, что средняя мощность питания источника довольно большая, и сама схема включает много элементов, пришлось отказаться от изоляции источника относительно земли. Оказалось более удобным изолировать экстрагирующий электрод. Однако в этом случае возникают трудности в методике регистрации ионов, пришедших на коллектор. Регистрация еще больше усложняется импульсной работой ионного источника, так как появляются всевозможные наводки. По этой причине необходима хорошая экранировка как коллектора ионов, так и всех цепей от него до усилителя самописца. Как видно из рис. 2, коллектор находится под небольшим потенциалом относительно земли. При выходе ионов из дуанта они попадают в тормозящее поле. При этом будет наблюдаться смещение ионов от первоначальной траектории. Как показал расчет, при существующей геометрии величина смещения — не более одного миллиметра. Для того, чтобы ионы не потеряли своей скорости полностью и не изменили зарядность в этом случае, на коллектор и подается — 400 в относительно земли. Выбор такого напряжения ясен из таблицы 1, где показана зависимость тока ионов на коллектор от его потенциала относительно земли. При этом напряжение на дуанте было 10 кв.

Т а б л и ц а 1

Напряжение на коллекторе /в/	0	100	200	300	500	800	1000	1500	2000
Ток ионов N_{14}^{+3} на коллектор /ма/	0,75	3,5	4,3	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5	4,5

При напряжении на дуанте 2,5 кв постоянство тока на коллекторе наступает, начиная с напряжения в 100 вольт на нем.

Поскольку коллектор находится в сильном магнитном поле, а энергия ионов, приходящих на него, очень мала, то вторичная эмиссия электронов с коллектора будет незначительна. Тем не менее на коллекторе были сделаны сверху и снизу небольшие бортики для улавливания возможных термоэлектронов, уходящих из коллектора вдоль силовых линий магнитного поля. Все детали, изолирующие коллектор от земли и дуанта, керамические.

На рис. 3 представлена зависимость отношения полуширины пика $\Delta\rho$ /шири-

на на половине высоты/ к расстоянию между щелью источника и местом положения щели коллектора, равному 2ρ . Из рисунка видно, что чем больше 2ρ , тем лучше разрешающая способность прибора. Типичная спектрограмма ионов при подаче в ионный источник воздуха приведена на рис. 4. Описание конструкции ионного источника и схемы его питания приводится в работе /1/.

Результаты исследования источников на стенде

На стенде источников исследовалось влияние следующих факторов на образование ионов различной зарядности:

- а/ места подачи газа в газоразрядную камеру;
- б/ длины газоразрядной камеры;
- в/ мощности в разряде;
- г/ мощности подогрева катода;
- д/ расхода газа в единицу времени.

Все опыты проводились при подаче в ионный источник воздуха. При этом в основном регистрировались ионы азота разной зарядности. Источник работал в импульсном режиме с частотой 100 гц при длительности импульса около 1 мсек.

1. Для исследования влияния места подачи газа в газоразрядную камеру на образование ионов различной зарядности была изготовлена камера с тремя трубками для подачи газа: в область катода, в область антикатода и в середину газоразрядной камеры. Длина газоразрядной камеры равна 200 мм.

Во время работы коллектор ионов устанавливался на радиус, соответствующий фокусу ионов N^{+4} , а затем источник по всем параметрам настраивался на максимальный ток этих ионов при различных комбинациях подачи газа в газоразрядную камеру. После этого на ленту самописца записывался весь спектр ионов, получаемых в источнике. Полученные в этих опытах результаты по ионам азота сведены в таблицу 2.

Т а б л и ц а 2

Место подачи газа	Ток ионов азота /относит. ед./				Расход газа (см ³ /мин)
	+	+2	+3	+4	
В область катода	8,9	11	6,5	1	1,7
В область катода и в середину	7,3	9	5,6	1	1,9
В область катода, антикатода и в середину	5,7	9,9	6,6	0,8	2
В середину	18	5,9	2,8	0,37	2,3

В таблице не приводятся данные при подаче газа:

а/ только в область антикатода и б/ в область антикатода и в середину, так как в этих случаях для устойчивой работы источника необходимо много газа, а тогда получается мало ионов с большой зарядностью. Как видно из таблицы, выход ионов четырехзарядного азота почти одинаков при первых трех комбинациях. Однако для устойчивой работы источника в область катода необходимо подавать меньше газа, чем для других случаев.

II. Влияние длины газоразрядной камеры на образование ионов различной кратности исследовалось на трех камерах длиной в 85 мм, 150 мм и 200 мм. Во всех камерах газ подавался в область катода. При проведении этих опытов для каждой длины камеры ионный источник настраивался на оптимальный режим по максимуму тока ионов N^{+4} . Затем один из трех параметров /мощность в разряде, мощность подогрева катода, расход газа/ изменялся, а два других мы стремились удерживать неизменными. Поддерживать постоянными расход газа и мощность подогрева катода не составляет труда. При изменении этих двух параметров мощность в разряде можно получить также постоянной. Что касается напряжения на разрядном промежутке, то им управлять довольно трудно, поэтому во время опытов оно обычно изменялось в пределах от 5 до 20%.

В итоге измерений на стенде с регистрацией на самописце получено много серий кривых по всем трем параметрам для трех длин камеры. Полученные зависимости токов различных ионов азота для разных длин камер качественно похожи по всем трем соответствующим параметрам. Наиболее типичные из них приведены на рис. 5, 6, 7. По оси ординат отложены значения токов в импульсе.

В среднем соотношения между токами различных ионов азота во 2-ом максимуме и соответствующая ему мощность разряда при разной длине камеры приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Длина камеры /мм/		85	150	200
Токи ионов во 2-ом максимуме /в % к общему току/	N^{+1}	31	26,5	15
	N^{+2}	29	33	34,5
	N^{+3}	32	32	40
	N^{+4}	7,3	8	9,8
	N^{+5}	0,55	0,57	0,59
Мощность в импульсе разряда /усредненная по нескольким данным/		24 квт	30 квт	36 квт

По абсолютному значению максимальные токи ионов большой зарядности из камер разной длины мало отличаются.

Обсуждение результатов

В отличие от результатов, полученных на циклотронах ^{12/} для аналогичных ионных источников, характерной чертой кривых зависимостей токов ионов от мощности в разряде, полученных на стенде, является наличие двух максимумов для многозарядных ионов /рис. 5/. Место положения их несколько смещается от источника к источнику даже для одинаковой длины камеры. В редких случаях после первого максимума есть плато, еще реже наблюдается непрерывный рост, но с разным наклоном вплоть до 2-го максимума /с большей мощностью/. Как правило, токи высокозарядных ионов в 1-ом максимуме меньше, чем во втором, в 2÷3 раза. Положение максимумов для ионов различной зарядности почти совпадает. В некоторых случаях наблюдается последовательность появления максимумов ионов различной зарядности /см.рис. 8/ в зависимости от мощности в разряде. Напряжение на дуге не зависит от длины камеры.

Кривые зависимости выхода ионов азота различной зарядности от мощности подогрева катода /рис. 6/ для всех длин камер почти одинаковы; все они имеют максимумы, место положения которых зависит от времени работы источника и теплового контакта катода со своим держателем. При очень хорошем тепловом контакте катода с держателем наблюдается непрерывный рост выхода ионов в зависимости от мощности подогрева; абсолютное значение тока ионов при этом меньше, чем при наличии максимума.

Кривые зависимости выхода ионов от расхода газа в единицу времени /рис.7/ также почти одинаковы для всех длин камер. Иногда максимума на кривых нет для многозарядных ионов. В этом случае ток их непрерывно растет с уменьшением подачи газа вплоть до срыва дуги. Количество однозарядных ионов всегда растет с увеличением подачи газа.

В ы в о д ы

1. Из других работ ^{3,4/} известно, что одно-, двух-, трехзарядные ионы имеют максимум при определенных токах в разряде дуги. Применение импульсной схемы питания источника позволило значительно увеличить мощность в разряде дуги во время импульса. При существующей геометрии разряда из рис. 5 и 8 следует, что выход 4- и 5- зарядных ионов азота также имеет максимум при определенной мощности в разряде. Ток однозарядных ионов в пределах рассматриваемых в настоящей работе мощностей после минимума дальше непрерывно растет.

2. Из опыта многолетней эксплуатации, а также данных работы /2/ и настоящей, видно, что мощность подогрева катода является очень важным фактором в получении многозарядных ионов, особенно тяжелых, таких как Ag^{+7} и Ag^{+8} .

3. Абсолютный выход многозарядных ионов азота при одинаковой геометрии экстракции мало зависит от длины газоразрядной камеры. Однако мощность в разряде, соответствующая максимуму выхода многозарядных ионов, растет с увеличением длины газоразрядной камеры /табл. 3/.

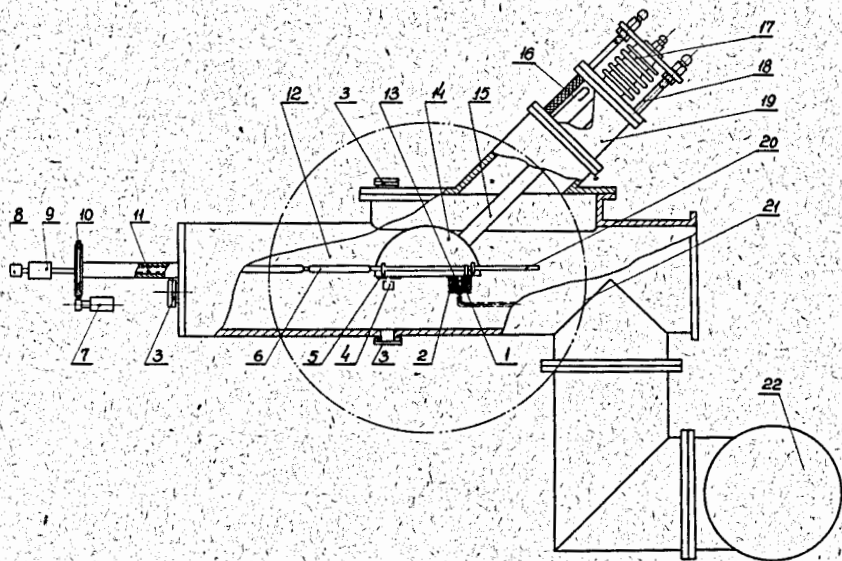
4. Для получения многозарядных ионов выгоднее всего подавать газ в область катода.

В заключение авторы выражают благодарность Г.Н. Флерову за проявленный интерес к работе. Мы благодарим механика В.Н. Донцова, оказавшего нам большую помощь при работе на стенде. Хотим также поблагодарить группу вакуумщиков и ее руководителя В.Г. Рогозинского за помощь, оказанную при наладке стенда.

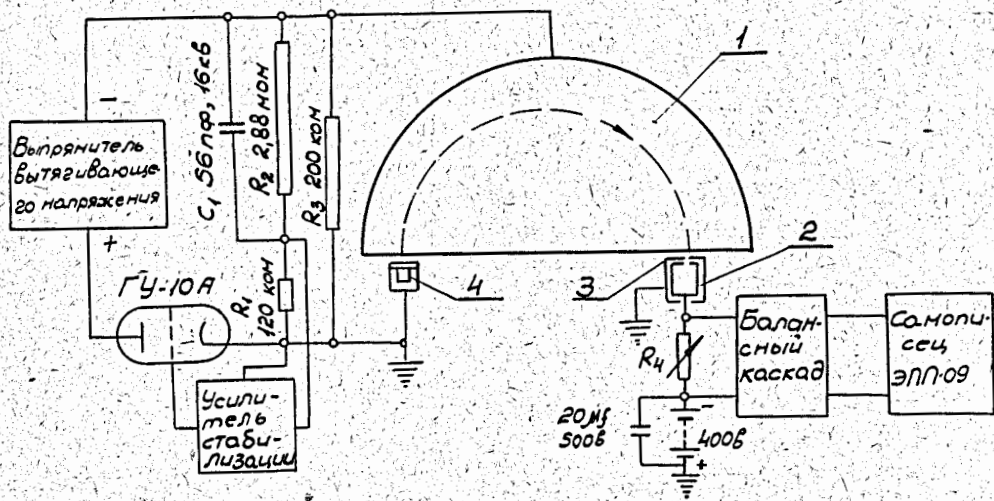
Л и т е р а т у р а

1. А.С. Пасюк, И.А. Шелаев, Го Ци-цзянь, Ю.П. Третьяков. ПТЭ, № 5, 23, 1963; Препринт ОИЯИ, Дубна, 1962.
2. А.С. Пасюк, Го Ци-цзянь. Препринт ОИЯИ 1522, Дубна, 1964.
3. П.М. Морозов, Б.Н. Марков, М.С. Иоффе. АЭ, II, № 3, 272 /1957/.
4. Ю.Д. Пигаров, П.М. Морозов. ЖТФ, т. 31, вып. 4, 467 и 476 /1961/.

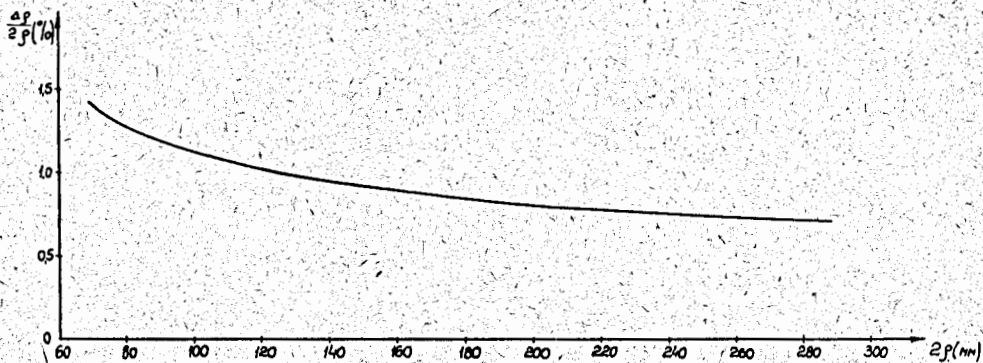
Рукопись поступила в издательский отдел
3 января 1964 г.



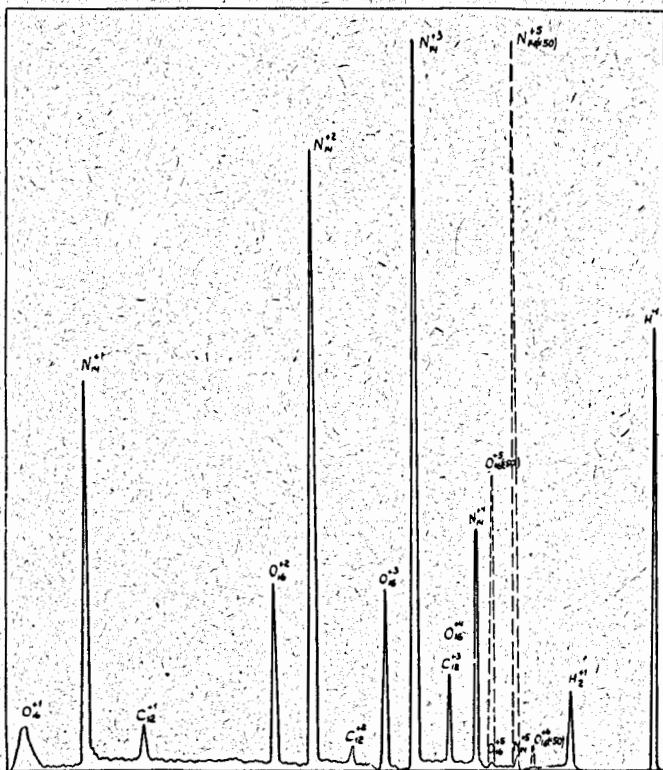
Р и с. 1. Схема стенда источников. 3 - смотровые окна, 4 - газоразрядная камера источника, 16 - защитный экран, 17 - сиффон, 18 - регулировочные винты для юстировки дуанта, 21 - контур края полюса магнита. Остальные элементы описаны в тексте.



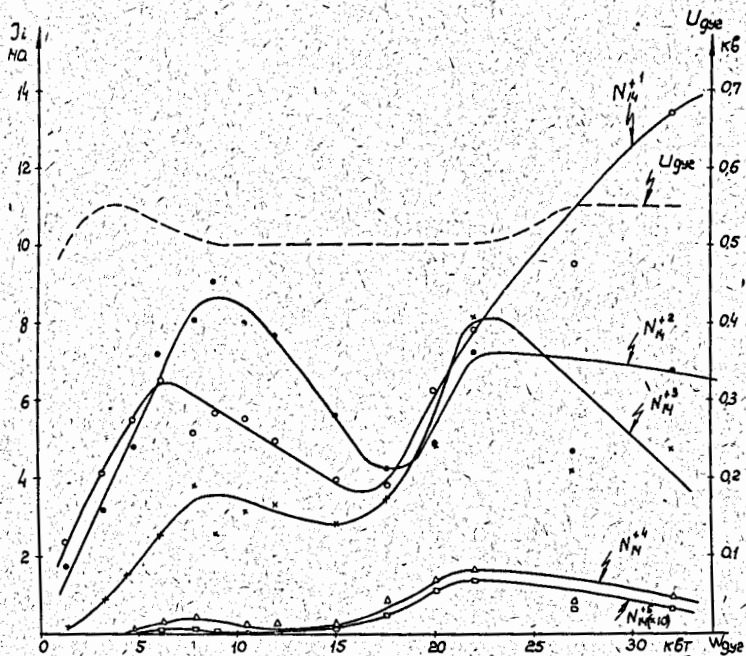
Р и с. 2. Блок-схема анализа ионов.



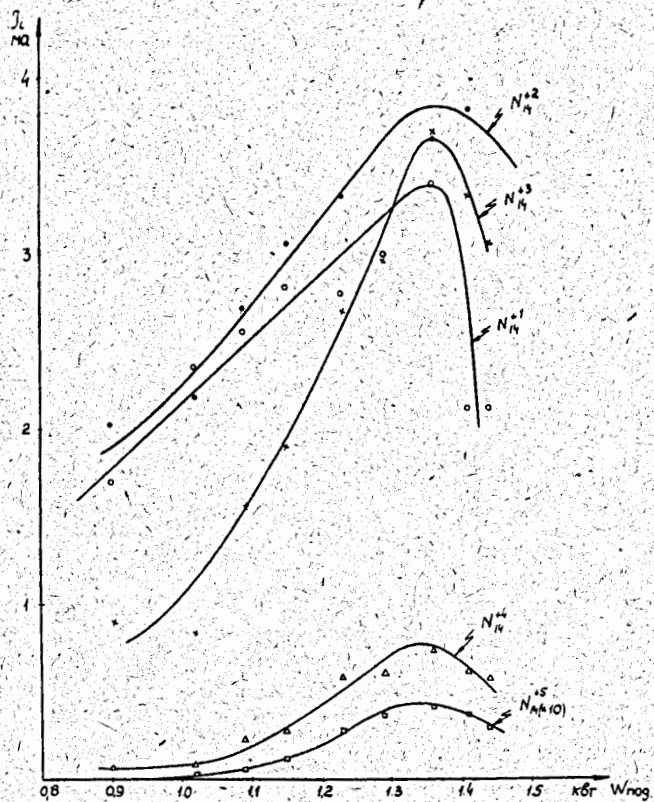
Р и с. 3. Разрешающая способность стэнда в зависимости от $2r$.



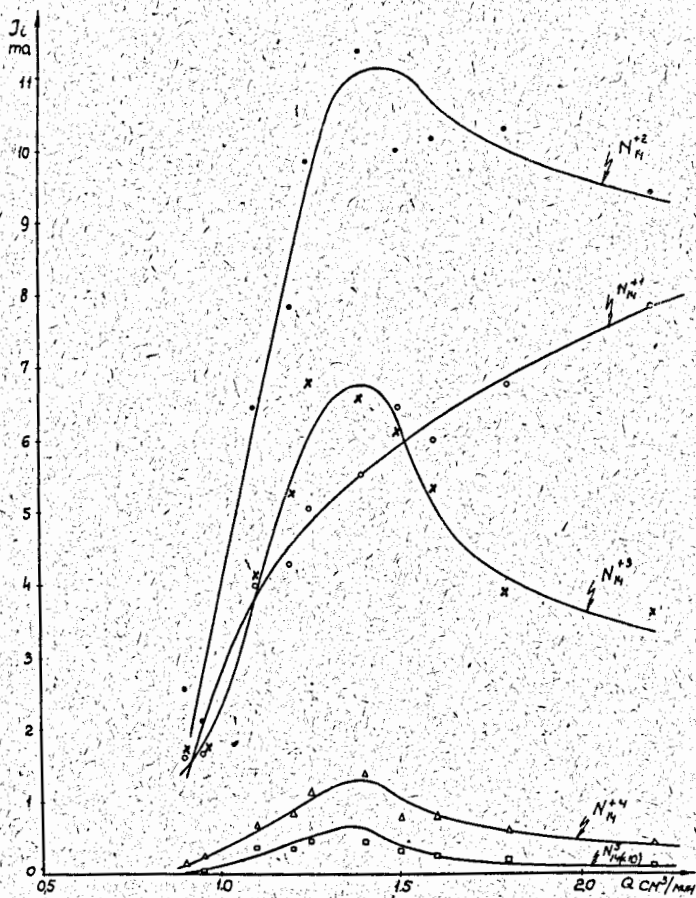
Р и с. 4. Спектрограмма ионов, полученных из воздуха.



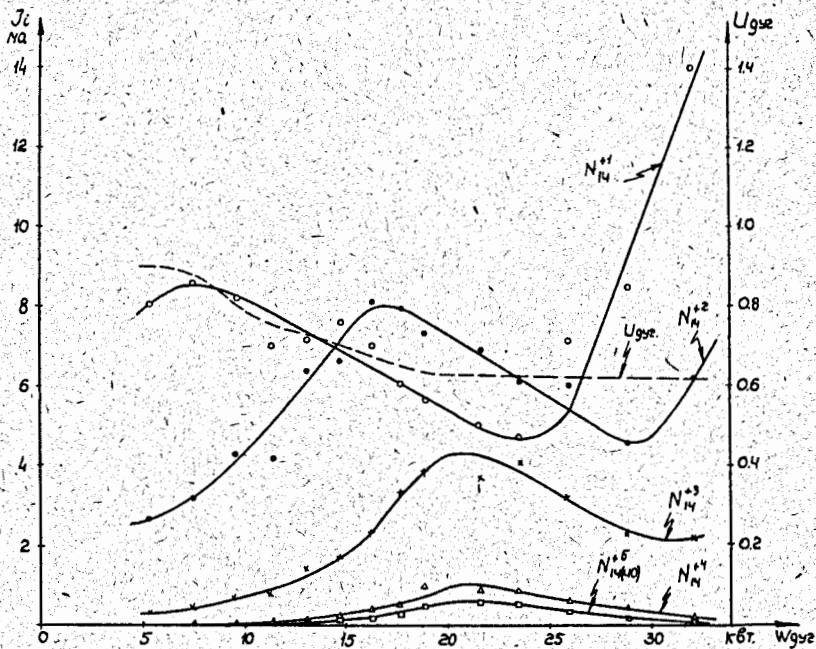
Р и с. 5. Зависимость выхода ионов азота от мощности в разряде. Значение тока ионов N_4^+ увеличено в 10 раз. Пунктирная кривая отражает изменение напряжения на дуге, значение которого дает правая вертикальная ось. Длина камеры - 100 мм.



Р и с. 6. Зависимость выхода ионов азота от мощности подогрева катода.
 Значение тока N_H^{+3} увеличено в 10 раз. Длина камеры - 150 мм.



Р и с. 7. Зависимость выхода ионов азота от расхода газа в единицу времени.
Длина камеры - 100 мм.



Р и с. 8. Зависимость выхода ионов азота от мощности разряда. Здесь имеется только по одному максимуму, и наблюдается последовательность их появления. Значение тока N_{14}^{+5} увеличено в 10 раз. Длина камеры - 150 мм.