

Г.И. Димов, Г.В. Росляков, О.Я. Савченко

**Формирование потока ионов
и нейтральных атомов из плазмы
импульсного дугового источника**

г.Новосибирск 1967

В работе описаны экспериментальные исследования формирования потока ионов и нейтральных атомов из плазмы импульсного дугового источника.

Г.И.Димов, Г.В.Росляков, О.Я.Савченко

ФОРМИРОВАНИЕ ПОТОКА ИОНОВ И НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ
ИЗ ПЛАЗМЫ ИМПУЛЬСНОГО ДУГОВОГО ИСТОЧНИКА

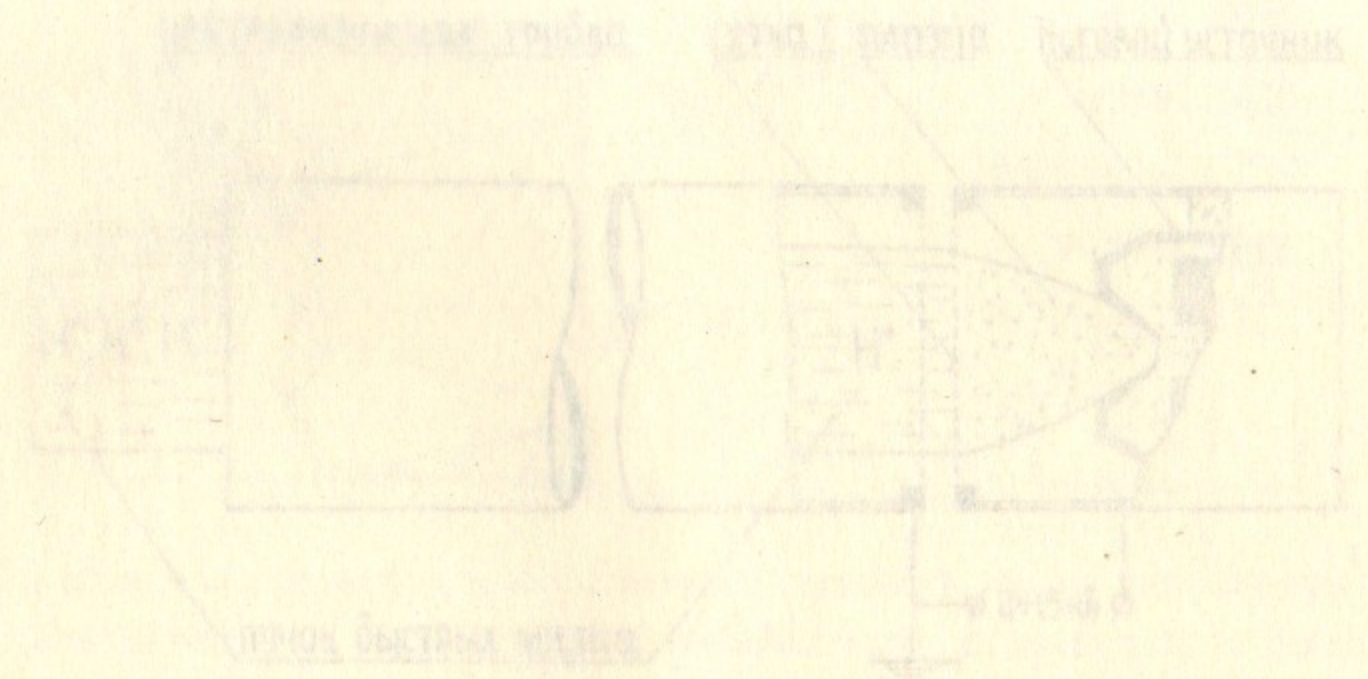


Рис. 1.

Водородная плазма из дугового источника расширяется в вакуумной камере, содержащей сетку (так же как и источник ионов) под потенциалом. Так как малочисленные расстояния между сеткой и анодом, а также между сеткой и катодом, и много раз превышает диаметр сетки, поле между сетками сравнительно однородно. Малочисленные положительные ионы образуют поток катоды. Во второй сетке происходит зарядовый обмен и нейтрализация электронами. 1967 г. Новосибирск

А н н о т а ц и я

В препринте описываются результаты экспериментов по формированию пучков частиц из плазмы дугового источника. Формирование пучка осуществлялось однородным электрическим полем в промежутке между двумя сетками. Объемный заряд пучка компенсировался

δ -электронами, выбитыми частицами пучка из газа, который предварительно напускался на пути частиц.

Работа выполнена с использованием импульсного дугового источника протонов, описанного в /1/. Формирование пучка ионов и нейтральных атомов из водородной плазмы источника осуществлялось следующим образом (см. рис. I).

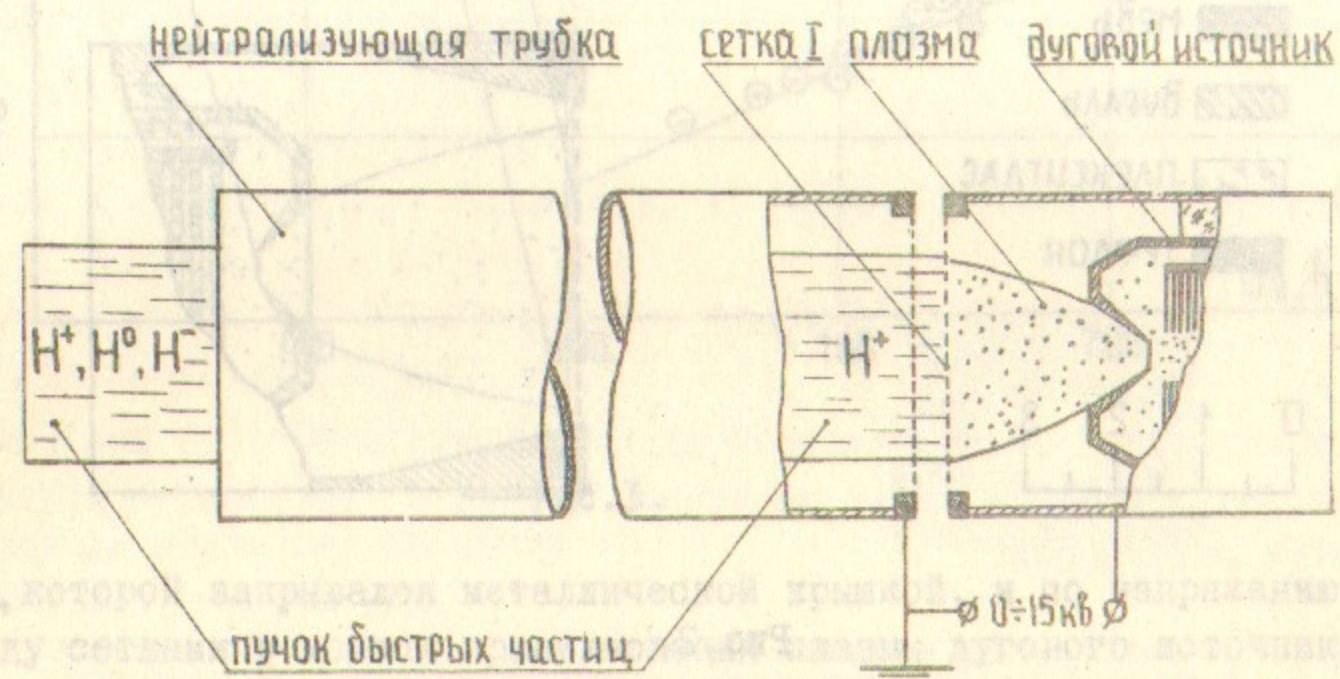


Рис. I.

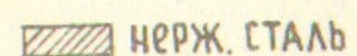
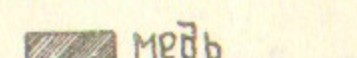
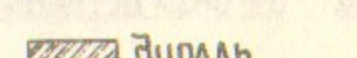
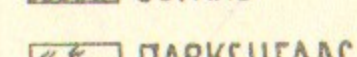
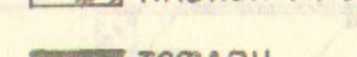
Водородная плазма из дугового источника выбрасывается на первую сетку, которая находится (так же как и источник плазмы) под потенциалом. Так как межсеточное расстояние много больше расстояния между никелевыми нитями сеток, и много меньше рабочего диаметра сеток, поле между сетками сравнительно однородное. Межсеточное поле формирует почти параллельный поток ионов. За второй сеткой пространственный заряд ионного пучка нейтрализуется δ -электронами, так как нейтрализующая трубка заполняется газом из дугового канала источника. Этот же газ вызывает перезарядку ионов. Поэтому на выходе из нейтрализующей

трубки частицы идут преимущественно в виде быстрых нейтральных атомов /2/.

Таким образом процесс формирования пучка ионов и нейтральных атомов можно грубо разбить на три стадии: отбор на первую сетку плазмы, выброшенной из дугового канала, формирование пучка ионов в межсеточном промежутке, нейтрализация пространственного заряда пучка и процесс перезарядки в нейтрализующей трубке.

I. Отбор плазмы из дугового источника

На рис.2 приведена простейшая конструкция системы отбора плазмы.

-  нерж. сталь
-  медь
-  дюраль
-  плексиглас
-  тефлон

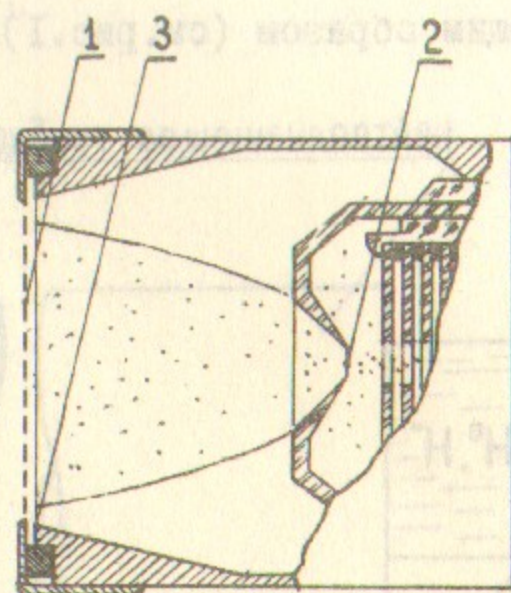
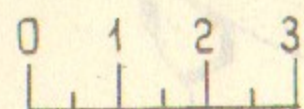


Рис.2.

Плазма выбрасывается на сетку (1) из отверстия (2) в аноде дугового источника.

Выступ (3) экранирует места прикрепления нитей сеток к оправке. Экранировка увеличивает электрическую прочность межсеточного промежутка. Количество плазмы, выбрасываемой в межсеточный промежуток вне зависимости от конструкции системы отбора плазмы, линейно зависит от напряжения на дуге /1,2/. На рис.3 приведены зависимости плазменных потоков ионов H^+ и N^+ в конструкции, изображенной на рис.2, в зависимости от напряжения на дуге. Поток ионов H^+ определялся двумя способами: по току ионов, отсасываемых из плазмы на перезарядную трубку, дальний ко-

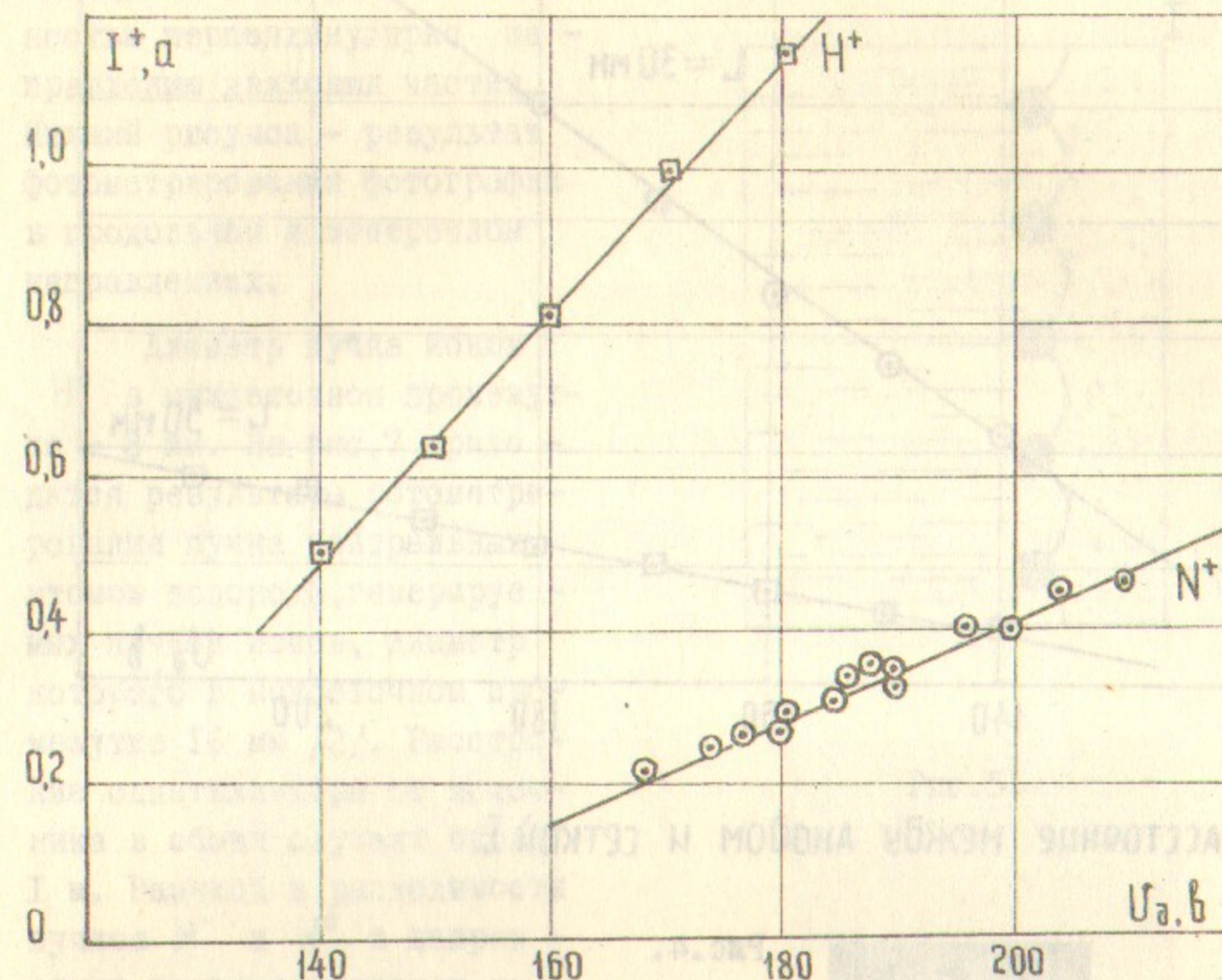
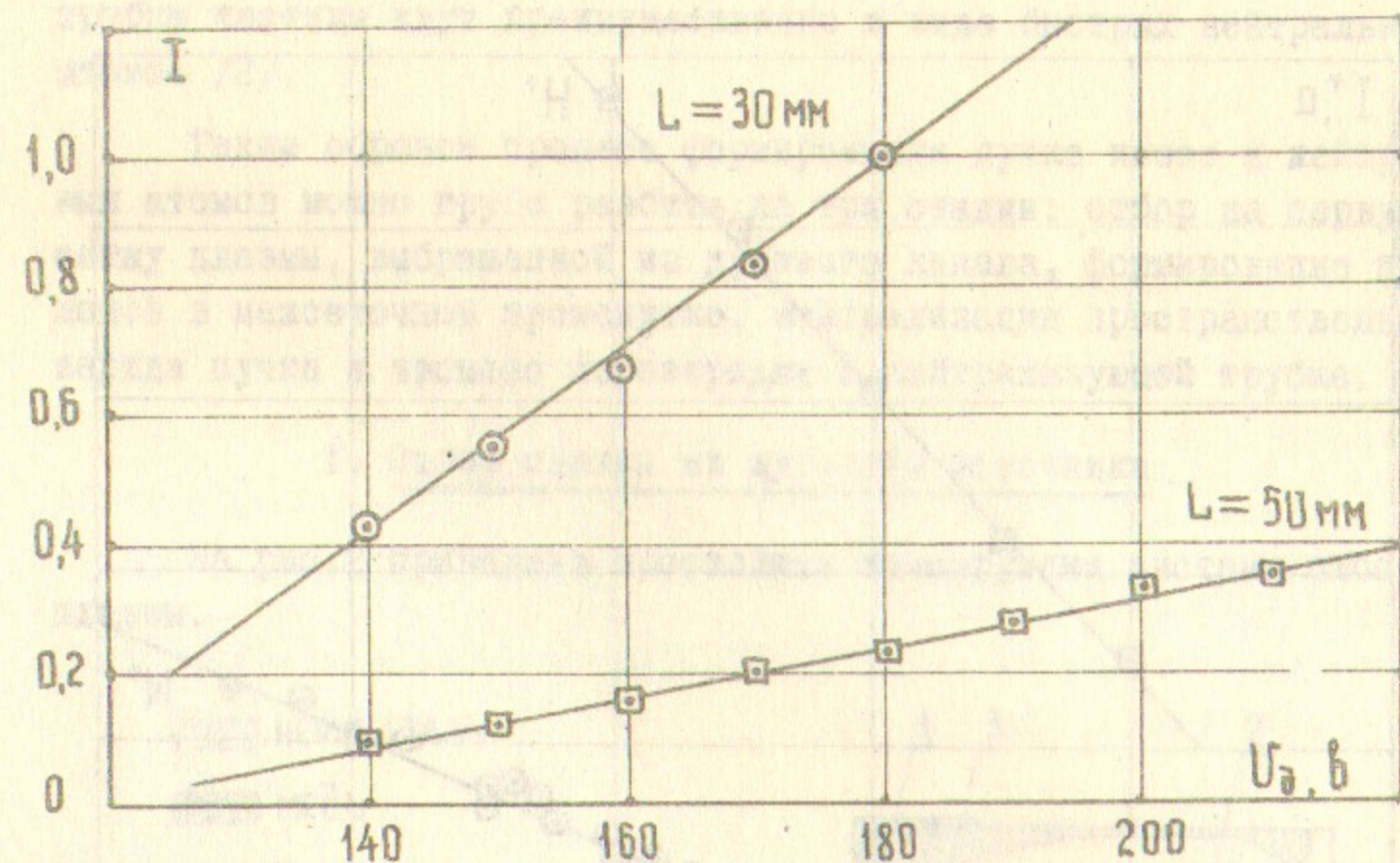


Рис.3.

ней, которой закрывался металлической крышкой, и по напряжению между сетками в момент проникновения плазмы дугового источника в межсеточный промежуток. Поток ионов N^+ определялся только вторым способом. Количество плазмы, выбрасываемой в межсеточный промежуток, в конструкции, изображенной на рис.2, сильно зависит и от расстояния между анодом и сеткой. На рис.4 в относительных единицах приведены величины отбора водородной плазмы при двух разных расстояниях между сеткой и анодом в зависимости от напряжения на дуге. Как видно из рисунка, увеличение расстояния между сеткой и анодом в 1,5 раза уменьшает отбор плазмы почти в 3 раза. Следует отметить, что плазма выбрасывается в межсеточный промежуток с неравномерно распределенной плотностью. Так при рас-
сочем диаметре сеток 37 мм и $L = 15$ мм на второй сетке после



L - расстояние между анодом и сеткой I.

Рис.4.

работы источника обнаруживается пятно диаметром 26 ± 28 мм. Следовательно, плазма выходит на первую сетку, в основном, в пределах этой окружности.

2. Формирование ионного пучка в межсеточном промежутке

Формирование ионного пучка осуществлялось сетками из никелевых проволок с диаметром 0,05 мм. Шаг сетки 0,23 мм. Использовались сетки с диаметрами рабочих поверхностей 8,16,37 мм.

В рабочем режиме плазма не проникала в межсеточный промежуток. Попадая на первую сетку, плазма рассасывалась электрическим полем вблизи первой сетки на расстояниях порядка расстояния между нитями (рис.5). Конечный радиус кривизны границы плазмы, неоднородность электрического поля вблизи нитей первой сетки вызывают значительную расходимость пучка. На рис.6 приводится фотография сцинтилляции, вызванной пучком H^- . Сцинтиллятор

ставился своей рабочей плотностью перпендикулярно на направление движения частиц. Нижний рисунок - результат фотометрирования фотографии в продольном и поперечном направлениях.

Диаметр пучка ионов H^+ в межсеточном промежутке - 8 мм. На рис.7 приводятся результаты фотометрирования пучка нейтральных атомов водорода, генерируемых пучком ионов, диаметр которого в межсеточном промежутке 16 мм [2]. Расстояние сцинтиллятора от источника в обоих случаях около 1 м. Разница в расходимости пучков H^- и H^0 в направлении, перпендикулярном направлению нитей первой сетки и в направлении, параллельном нитям первой сетки - равная $\sim 0,01$ рад. - вызвана дефокусировкой пучка в области первой сетки. Разница расходимостей слабо зависит и от потока плазмы, падающей на первую сетку и от напряжения между сетками [2].

Расходимость пучка в межсеточном промежутке можно оценивать по проходимость потока частиц через перезарядную трубку. Рис.8 иллюстри-

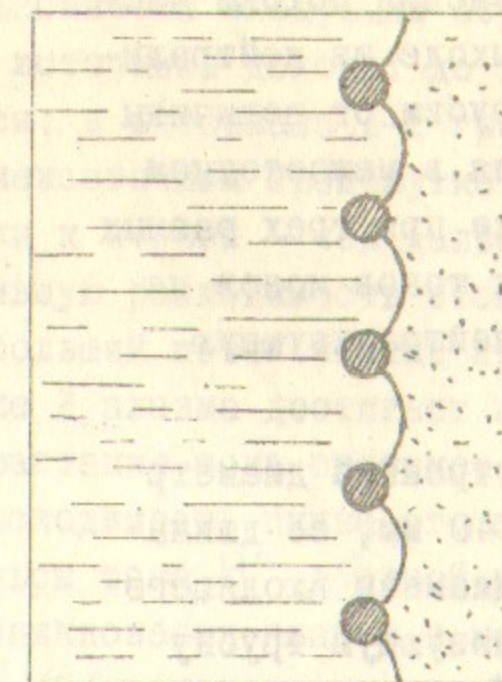


Рис.5.

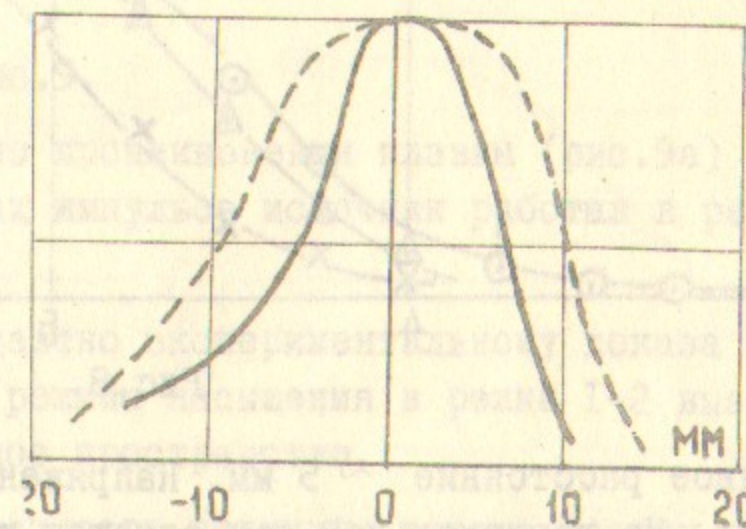
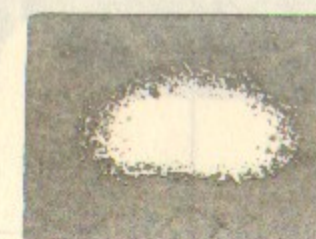


Рис.6

рует изменения потока частиц на выходе из нейтрализующей трубки от величины напряжения в межсеточном промежутке при трех разных значениях токов ионов на входе в нейтрализующую трубку.

Внутренний диаметр трубки - 40 мм, её длина 600 мм, диаметр входящего в нейтрализующую трубку пучка H^+ ~ 27 мм, межсе-

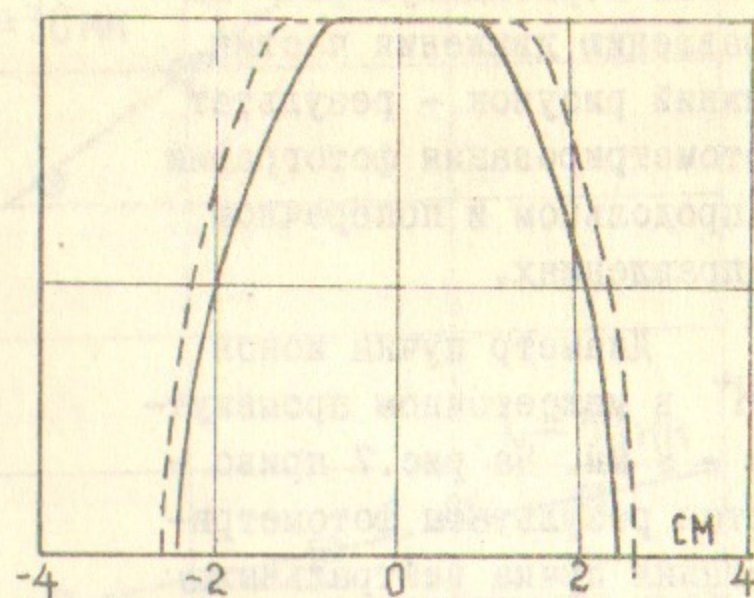


Рис.7.

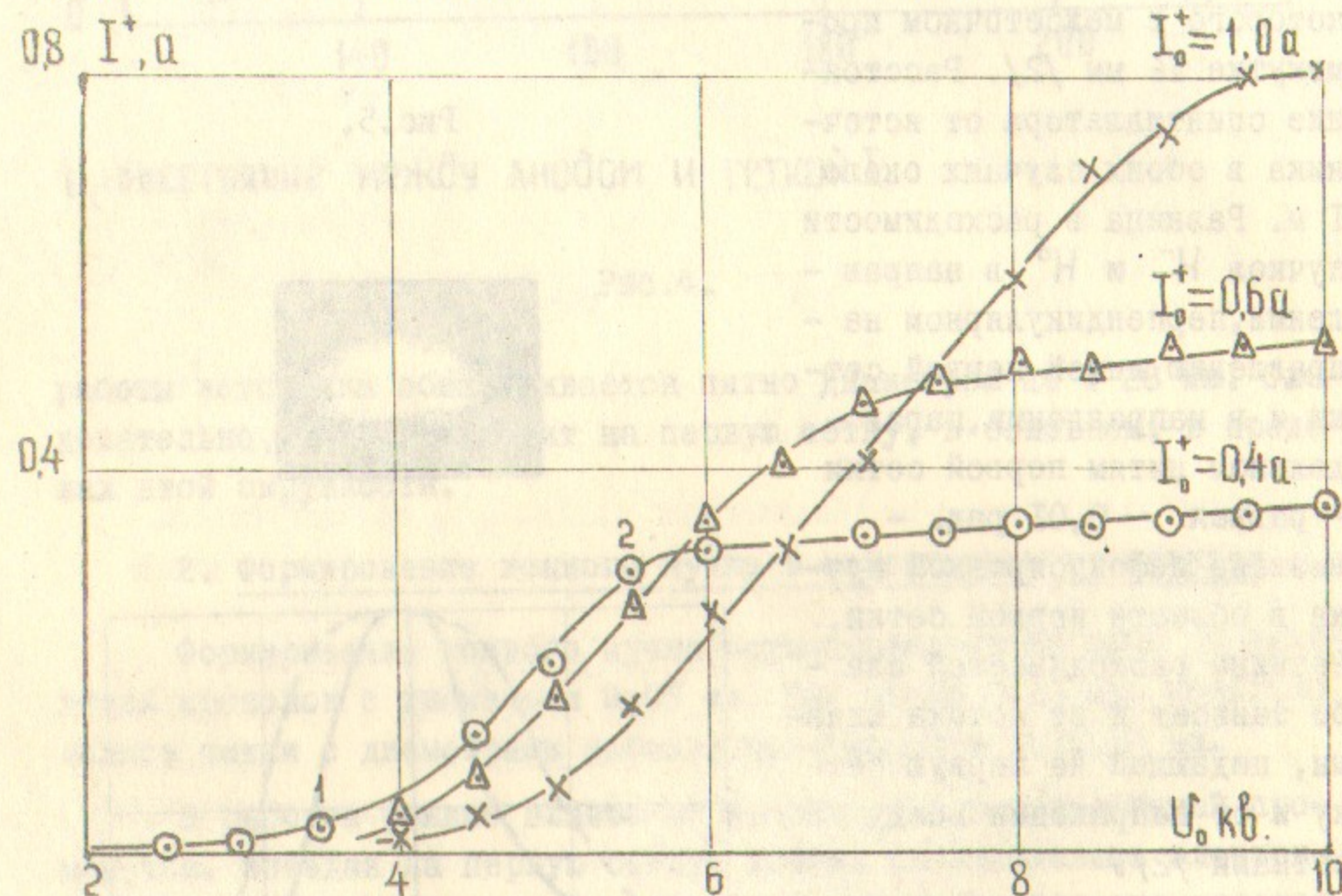


Рис.8.

точное расстояние ~ 5 мм. Напряжение на нейтрализующей трубке 200 в. На вертикальной оси отложен ионный ток пучка после прохождения частиц пучка через гелиевую мишень /3,4/. Аналогичные зависимости наблюдались и на других системах отбора плазмы, которые отличаются от приведенной в основном рабочим сечением се-

ток и сечением нейтрализующих трубок /2,5/.

Ход графика 8 качественно объясняется следующим образом: до точки 1 плазма ионного дугового источника доходит до второй сетки и поэтому пучок не формируется; в интервале 1-2 граница плазмы с увеличением напряжения в межсеточном промежутке перемещается в направлении от второй сетки к первой - чем дальше отходит плазма от второй сетки, тем меньшую расходимость отсасываемых ионов вызывает эта сетка, тем больший поток частиц проходит через нейтрализующую трубку; в точке 2 плазма достигает первой сетки; дальнейшее очень слабое возрастание тока связано, по-видимому, с уменьшением влияния на расходимость пучка его пространственного заряда. Характерные импульсы тока H^- в одной из систем формирования пучка в режиме проникновения плазмы в межсеточный промежуток и в режиме насыщения /6/ показаны на рис.9 /5/.

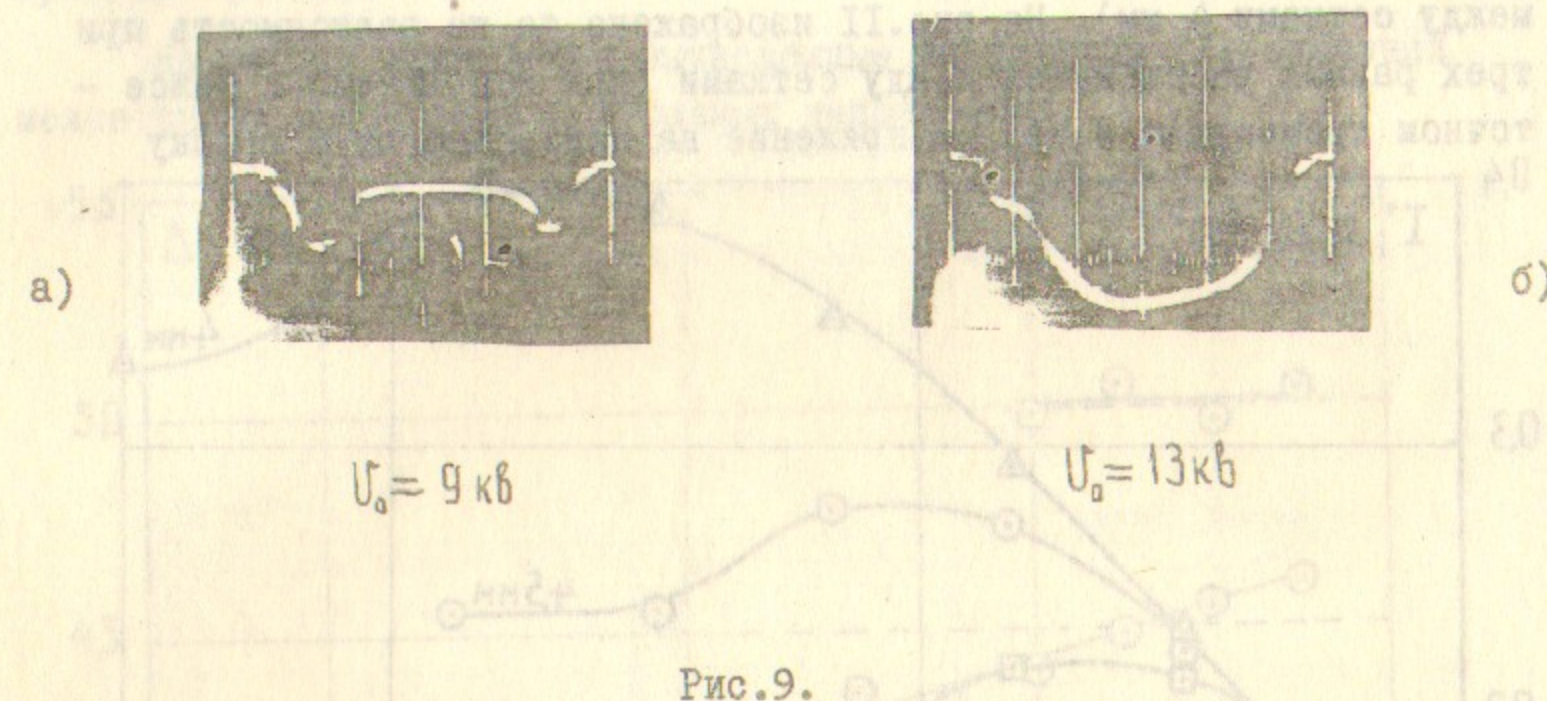


Рис.9.

Выбросы тока H^- в режиме проникновения плазмы (рис.9а) объясняются тем, что на фронтах импульса источник работал в режиме насыщения.

Большое внимание было уделено экспериментальному доказательству того, что переход от режима насыщения в режим 1-2 вызван выходом плазмы в межсеточное пространство.

Рис.10 иллюстрирует зависимость величины потока частиц из нейтрализующей трубки от плазменного потока на вторую сетку (от ионного тока в межсеточном промежутке) при трех разных напряжениях (расстояние

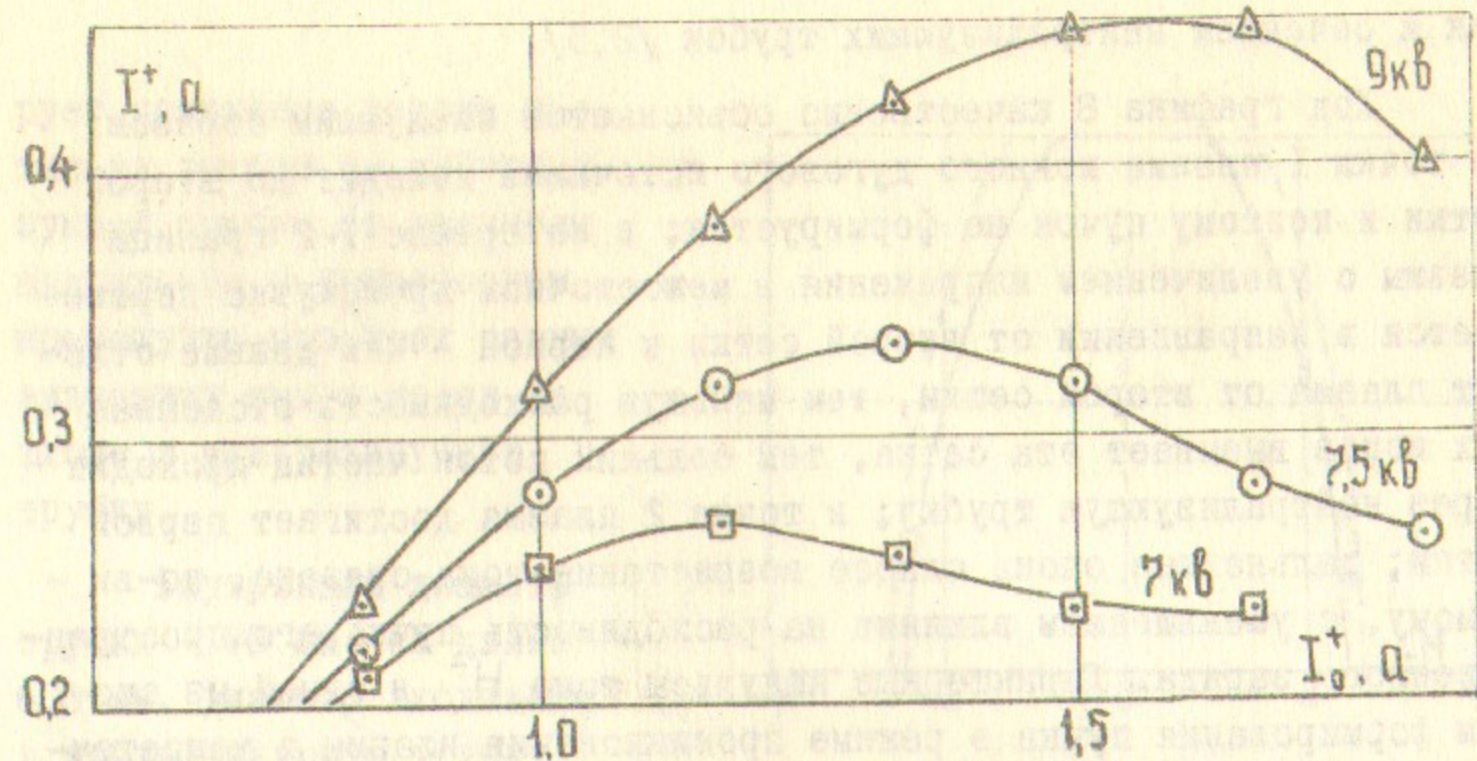


Рис. IО.

между сетками 4 мм). На рис. II изображена та же зависимость при трех разных расстояниях между сетками (при напряжении в межсеточном промежутке 8 кв). Напряжение на нейтрализующую трубку

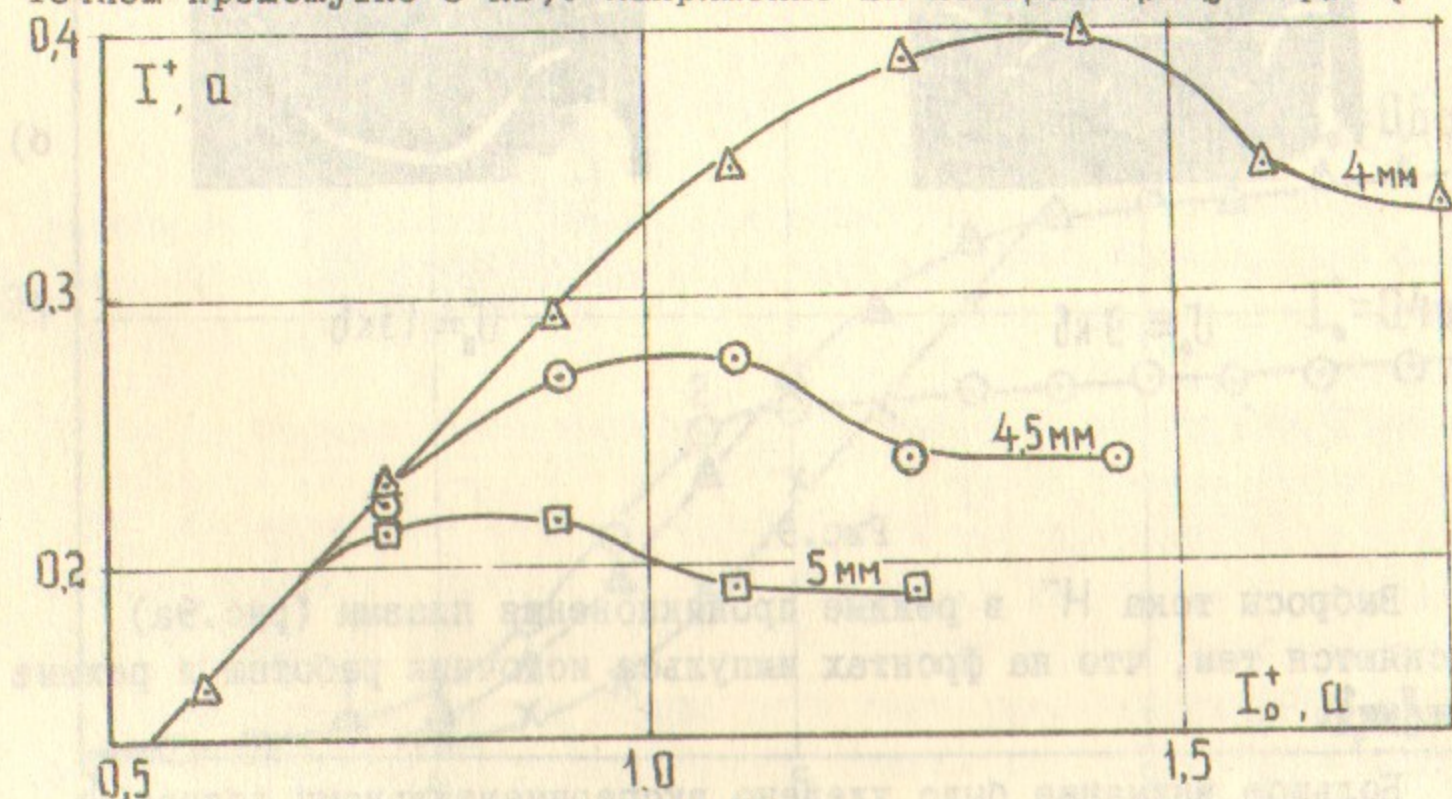


Рис. II.

равно нулю. Диаметр рабочей поверхности сетки и внутренний диаметр трубки 37 мм, длина трубки 600 мм. Для измерения потока частиц, последние ионизировались гелиевой мишенью /4/. Как видно из графиков, уменьшение напряжения и увеличение расстояния сдвигает максимум выхода потока частиц из нейтрализующей трубки в сторону

меньших входных ионных токов. Так как в режиме ионных входных токов больше максимизирующего ионного тока исчезает явно выраженная асимметрия расходимостей частиц в пучке, с нашей точки зрения появление этих максимумов связано с появлением плазмы в межсеточном промежутке. Поэтому максимум потока частиц должен наблюдаться тогда, когда плотность тока плазмы, выбрасываемой в межсеточный промежуток равна плотности ионного тока, отсасываемого по закону 3/2 на межсеточном расстоянии, т.е. максимальный ионный ток в межсеточном промежутке должен определяться (в амперах) следующим выражением:

$$j = 0,172 A^{-1/2} \Delta^2 S U_0^{3/2} \quad (I)$$

A - атомный вес иона, Δ - межсеточное расстояние (в мм), S - рабочая поверхность сетки (в см²), U_0 - межсеточное напряжение (в кв).

На рис. I2 приводятся вычисленные из формулы (I) значения межсеточных расстояний при разных напряжениях.

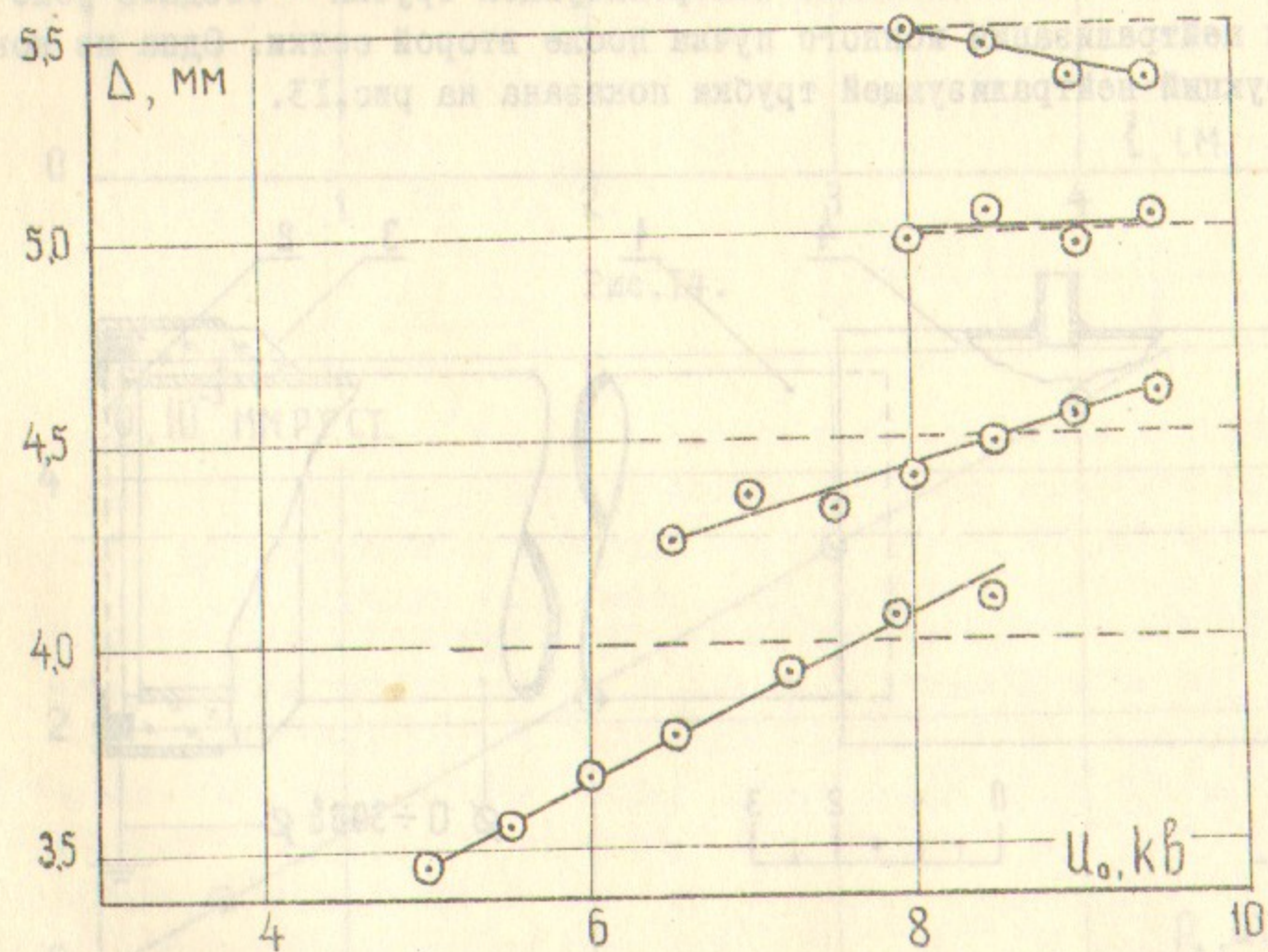


Рис. I2.

Точки, объединенные сплошной линией имеют в действительности совпадающие межсеточные расстояния. На пунктирных прямых лежат действительные расстояния.

Как видно из рис.12, вычисленные расстояния грубо совпадают с действительными. Тенденция к некоторому увеличению вычисленных расстояний при увеличении напряжения (а, следовательно, и ионного тока в межсеточном промежутке) связана, по-видимому, с тем, что с увеличением плазменных токов уменьшается сечение плазменной струи, падающей на вторую сетку. При расчете же по формуле (1) сечение считалось неизменным (диаметр плазменной струи на сетке принимался равным 27 мм). Поэтому можно считать доказанным, что резкое отклонение от линейной зависимости, появление максимумов в графике зависимости величина потока частиц на выходе из перезарядной трубки от величины межсеточного тока, вызваны рассогласованием между плотностью и ускоряющим межсеточным зазором.

3. Процессы в нейтрализующей трубке

Основное назначение нейтрализующей трубки - создать условия нейтрализации ионного пучка после второй сетки. Одна из конструкций нейтрализующей трубки показана на рис.13.

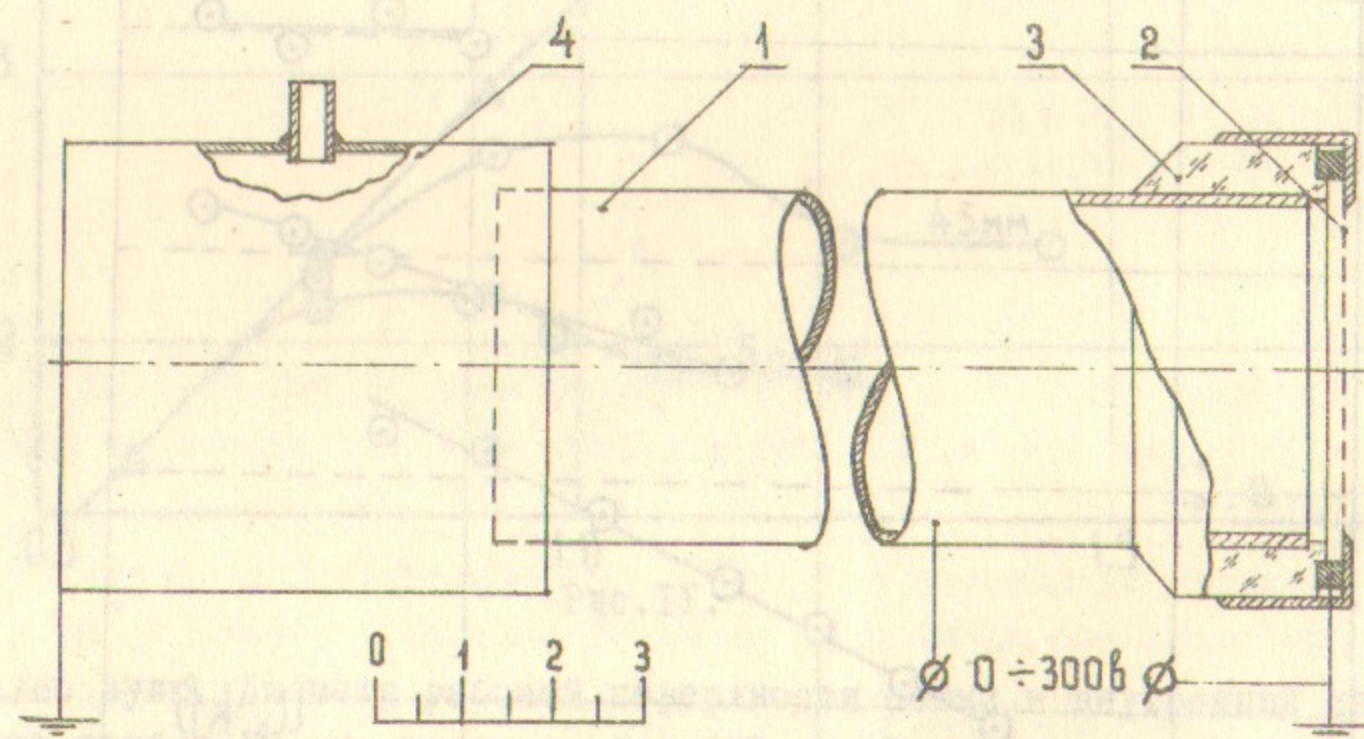


Рис.13

Медная трубка (1), длиной 400 мм с внутренним диаметром 37 мм с одной стороны закрыта заземленной второй сеткой (2), изолированной от трубки плексиглазовой прокладкой (3), с другой - сопрягается с трубкой из дюрала (4), в которую может напускаться гелий. Кроме конструкций трубки, изображенной на рис.13, использовались конструкции с медными трубками с длинами 40, 100, 150 мм и внутренним диаметром 10 мм /1,5/, длиной 250 мм и внутренним диаметром 25 мм /3/.

Давление газа, напускаемого в трубку из дугового канала источника, по длине трубки меняется незначительно. На рис.14 по-

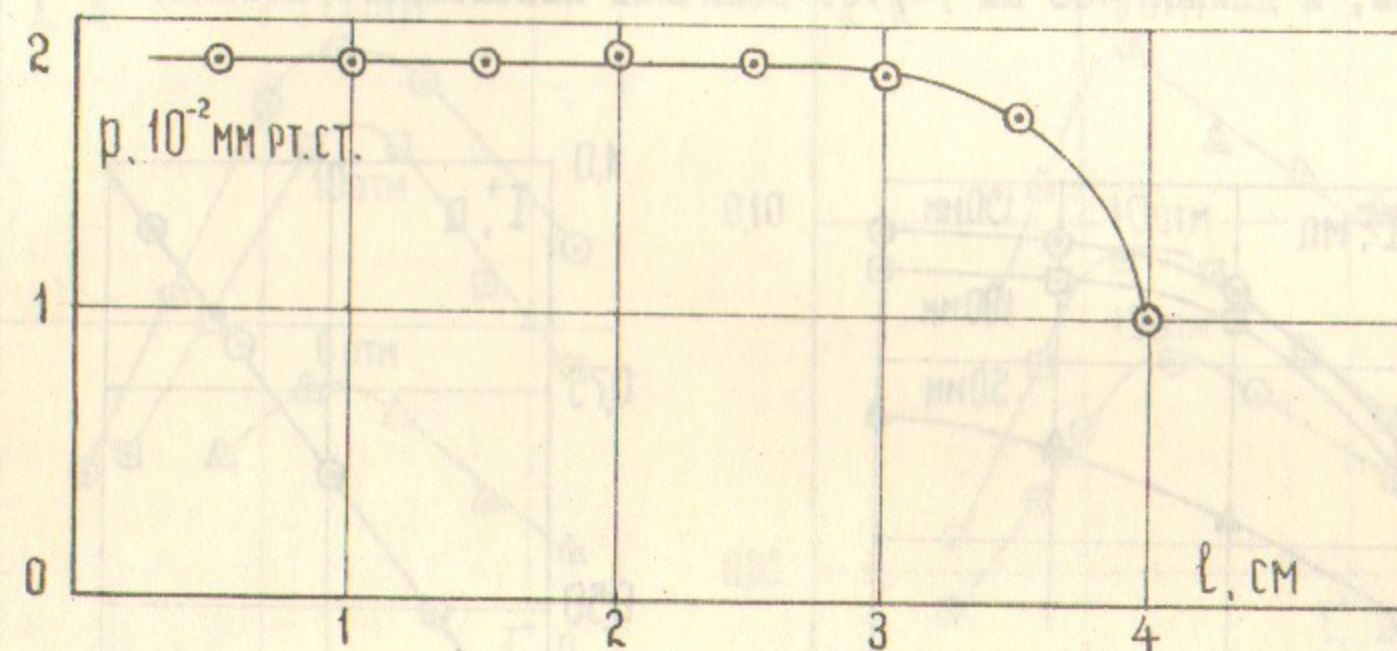


Рис.14.

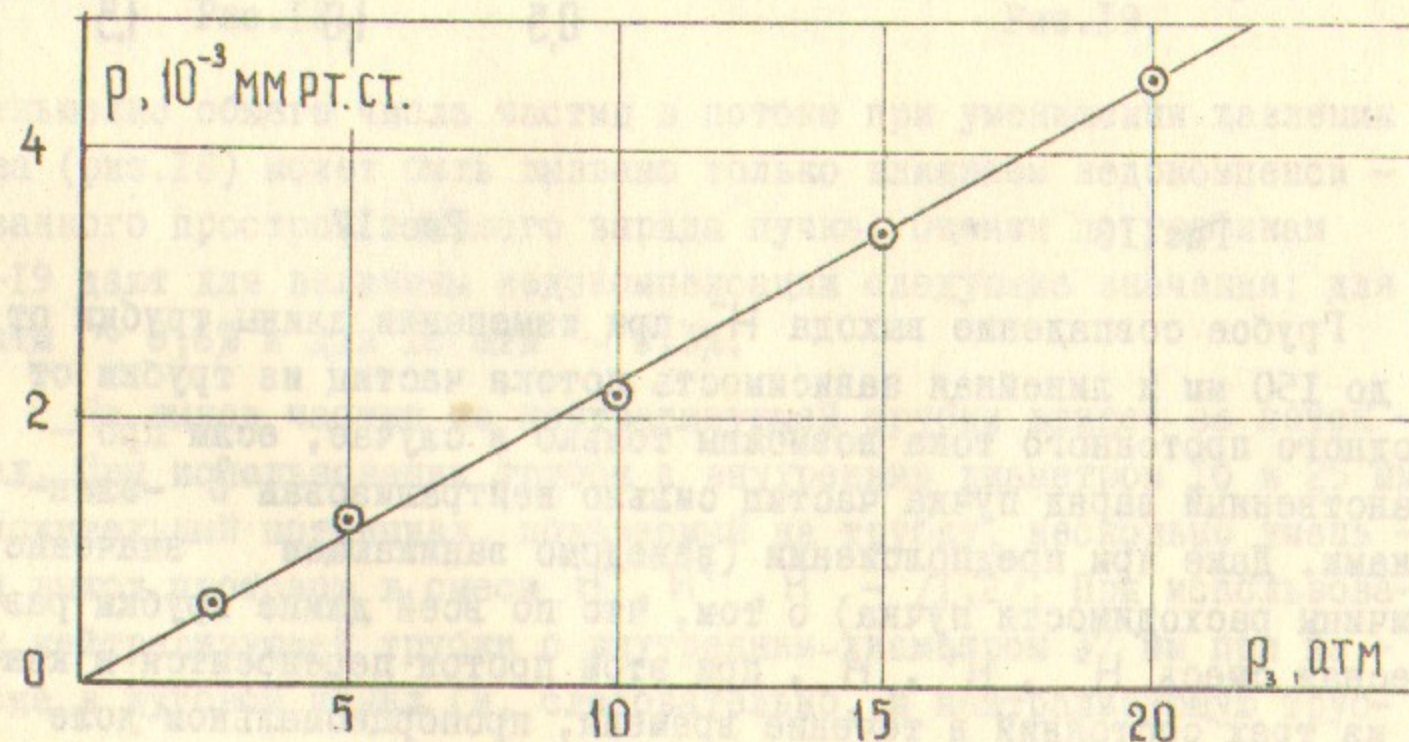


Рис.15

казано распределение давления водорода в медной трубке с внутренним диаметром 10 мм и длиной 40 мм. Давление водорода в газовом затворе 7,5 атм. Среднее же давление в трубке линейно зависит от давления в затворе. На рис.15 изображена эта зависимость для источника пучка ионов, с системой отбора плазмы и конструкцией нейтрализующей трубки, изображенных соответственно на рис.2 и рис.13.

На рис.16 показана зависимость выхода H^- из нейтрализующей трубки от напряжения в межсеточном промежутке при трех разных длинах нейтрализующей трубки диаметром 10 мм /1/, а на рис.17 — зависимость величины потока частиц (через трубку диаметром 37 мм, и длиной 400 мм /4/) от величины плазменного потока.

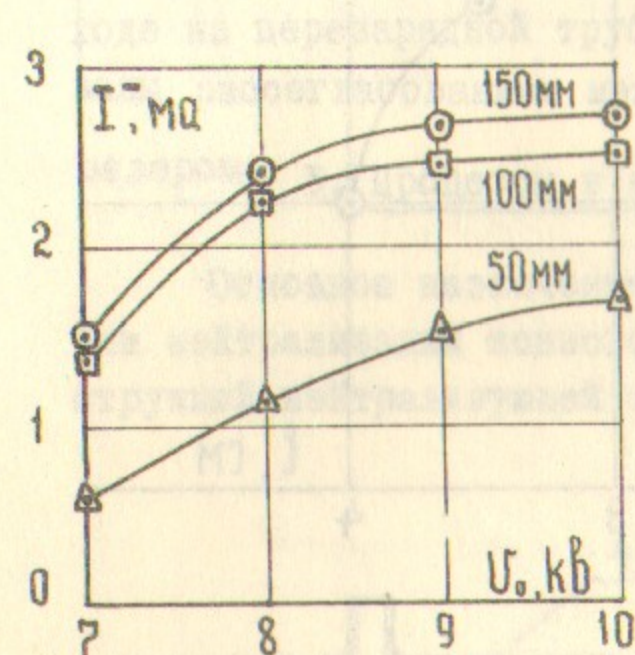


Рис.16

Грубое совпадение выхода H^- при изменении длины трубки от 100 до 150 мм и линейная зависимость потока частиц из трубки от выходного протонного тока возможны только в случае, если пространственный заряд пучка частиц сильно нейтрализован δ^- электронами. Даже при предположении (заведомо занижающем значение величины расходимости пучка) о том, что по всей длине трубки равновесная смесь H^0, H^+, H^- , при этом протон переносится в каждом из трех состояний в течение времени, пропорциональном доле

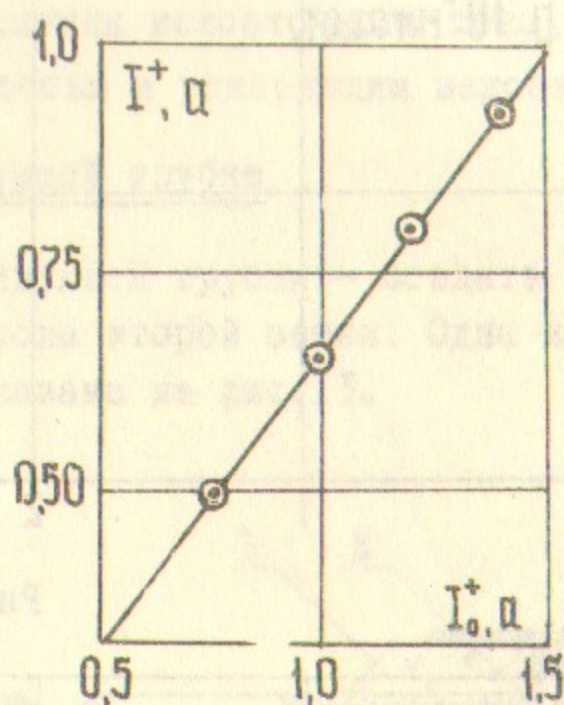


Рис.17

состояния, расходимость пучка должна быть такой, что при удлинении трубки с 100 до 150 мм ток H^- должен уменьшиться \sim в 2 раза, а отклонение от линейности (см.рис.17) должно быть таким, что при входном токе 800 мА поток частиц из нейтрализующей трубки был бы \sim в 10 раз меньше наблюдаемого. Однако нельзя утверждать, что пространственный заряд полностью нейтрализован. Рис.18 и 19 иллюстрируют зависимость выхода протонов из нейтрализующей трубки диаметром 37 мм и длиной 400 мм /4/ от входного ионного тока (с гелиевой мишени и без гелиевой мишени) при разных давлениях газа в затворе.

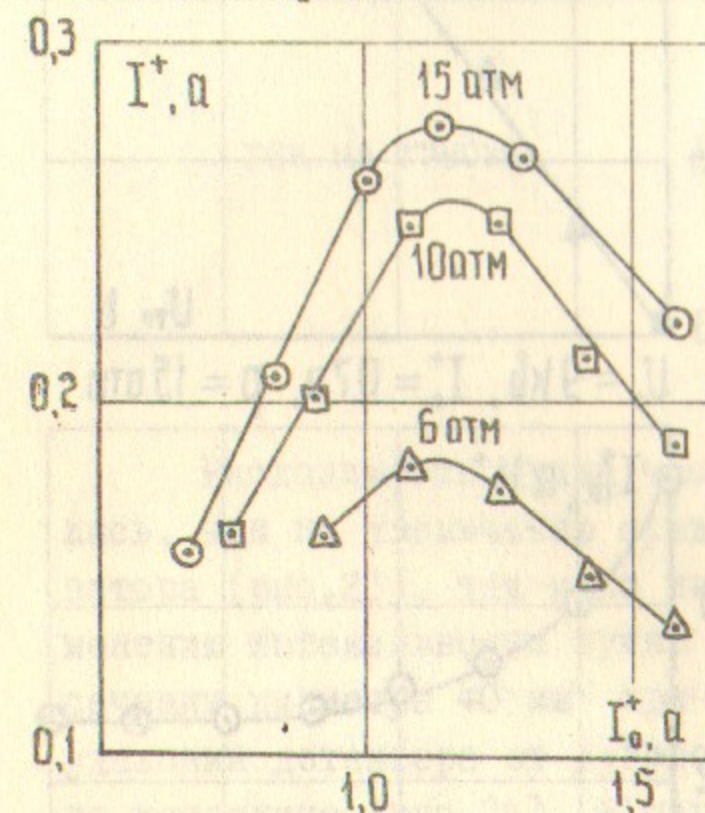


Рис.18.

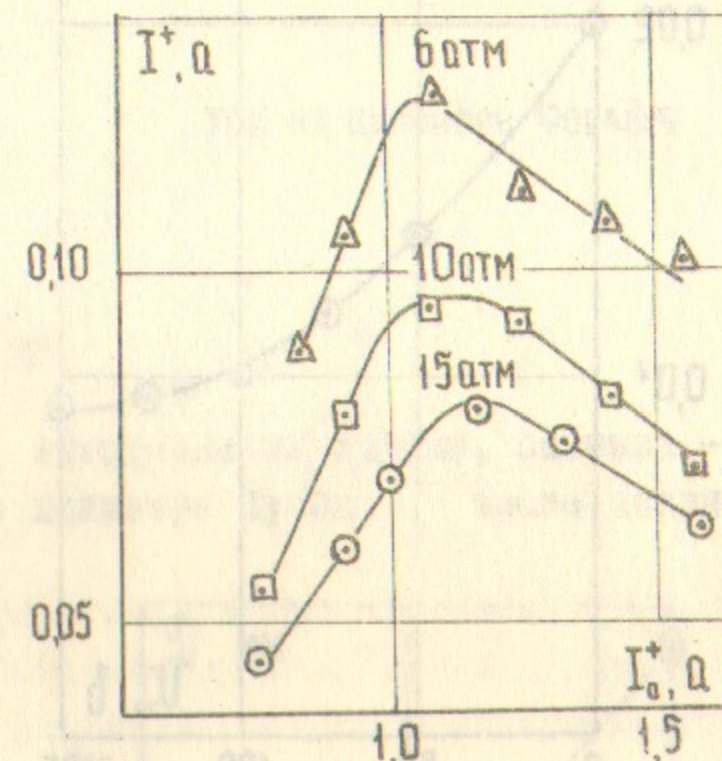
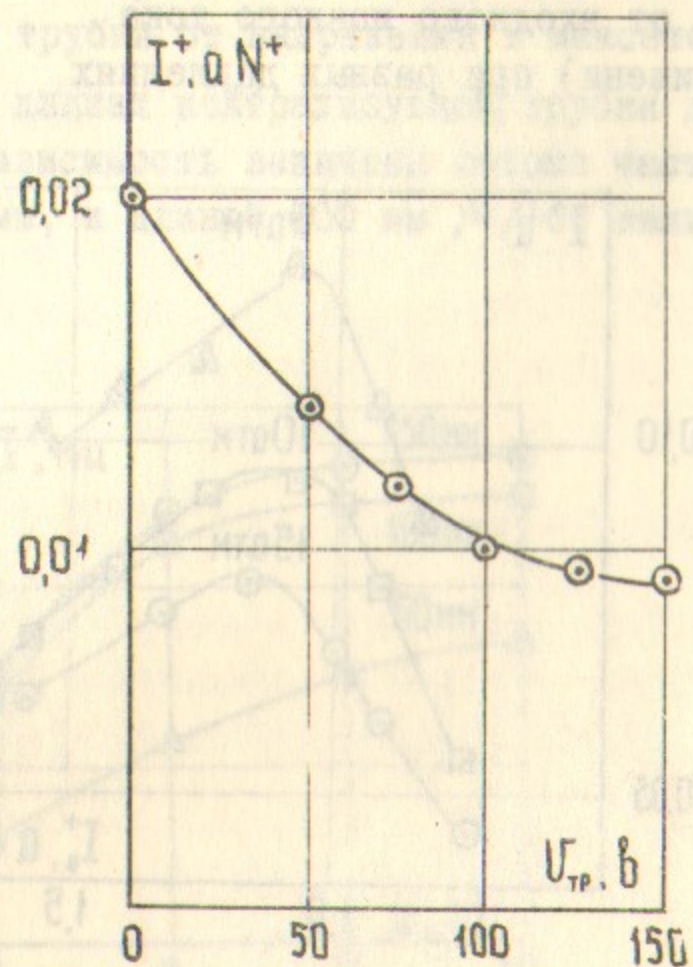


Рис.19.

Уменьшение общего числа частиц в потоке при уменьшении давления газа (рис.18) может быть вызвано только влиянием недокомпенсированного пространственного заряда пучка. Оценки по графикам 18-19 дают для величины недокомпенсации следующие значения: для 6 атм \sim 0,6% и для 10 атм \sim 0,3%.

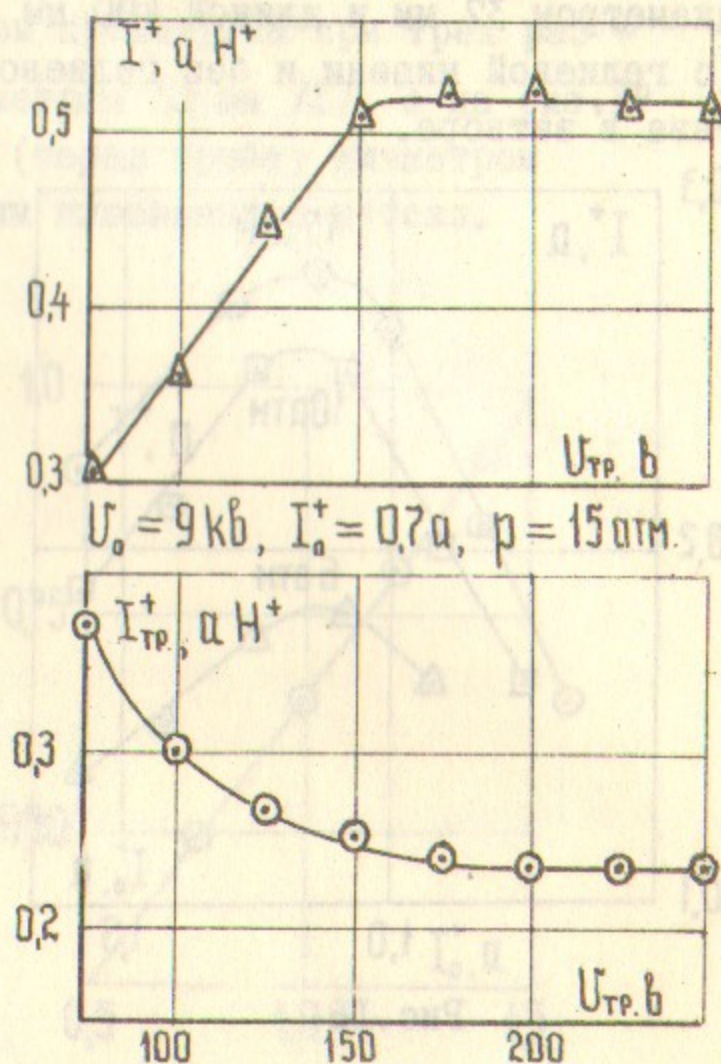
На выход частиц из нейтрализующей трубки влияет ее потенциал. При использовании трубок с внутренним диаметром 10 и 25 мм положительный потенциал, подаваемый на трубку, несколько уменьшал выход протонов в смеси H^0, H^+, H^- /1,2/. При использовании нейтрализующей трубки с внутренним диаметром 37 мм при напуске в дуговой канал (и, следовательно, в нейтрализующую труб-

ку) азота выход ионов азота из трубки при подаче на трубку положительного потенциала так же уменьшается. Однако выход протонов (при напуске в дуговой канал водорода) из той же трубки с повышением напряжения значительно увеличивается. На рис.20,21 приведены графики зависимости величины тока N^+ и протонного тока и соответствующие графики зависимости тока на нейтрализующую трубку в зависимости от величины напряжения на перезарядной трубке.



$U_0 = 10 \text{ кВ}$, $I_0^+ = 0,02$, $p_{N_2} = 20 \text{ атм}$

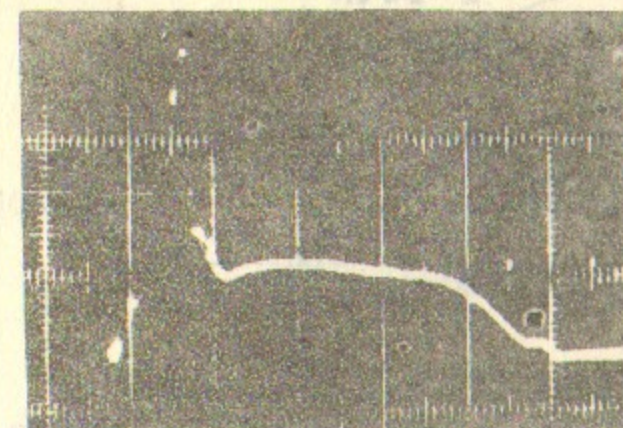
Рис.20.



$U_0 = 9 \text{ кВ}$, $I_0^+ = 0,7 a$, $p = 15 \text{ атм}$.

Рис.21.

Как видно из рис.21 ток на трубку коррелирует с выходящим из трубки протонным током - с увеличением тока на трубку протонный ток уменьшается. Фото 22 также иллюстрирует эту корреляцию - в момент резкого увеличения тока на трубку поток протонов на выходе из трубки резко уменьшается.



ТОК НА ТРУБКЕ



ТОК НА ЦИЛИНДРЕ ФАРАДЕЯ

Рис.22

Расходимость пучка частиц, выходящих из трубки, оценивается, как по увеличению среднего диаметра пучка после анализатора (рис.23), так и по изменению интенсивности пучка в сечении диаметра 40 мм при удалении детектора от дугового источника (рис.24). В первом случае пучок имел начальный диаметр 6 мм и формировался в трубке с внутренним диаметром 10 мм и длиной 150 мм, во втором случае начальный диаметр пучка был 27 мм и формировался пучок в трубке с внутренним диаметром 37 мм и длиной 600 мм. Расходимость пучков и в том и в другом случаях грубо совпадает с расходимостью пучка, вычисленной по формуле:

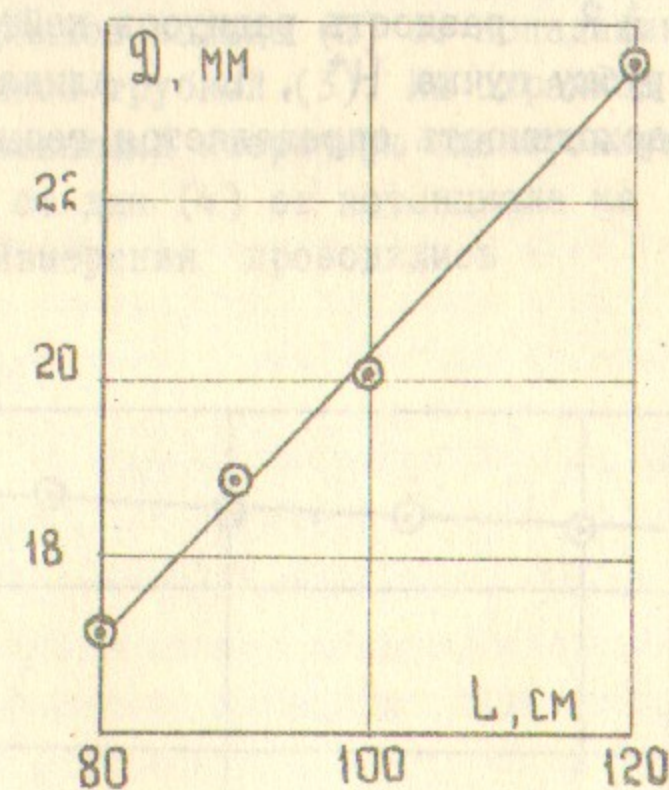


Рис.23

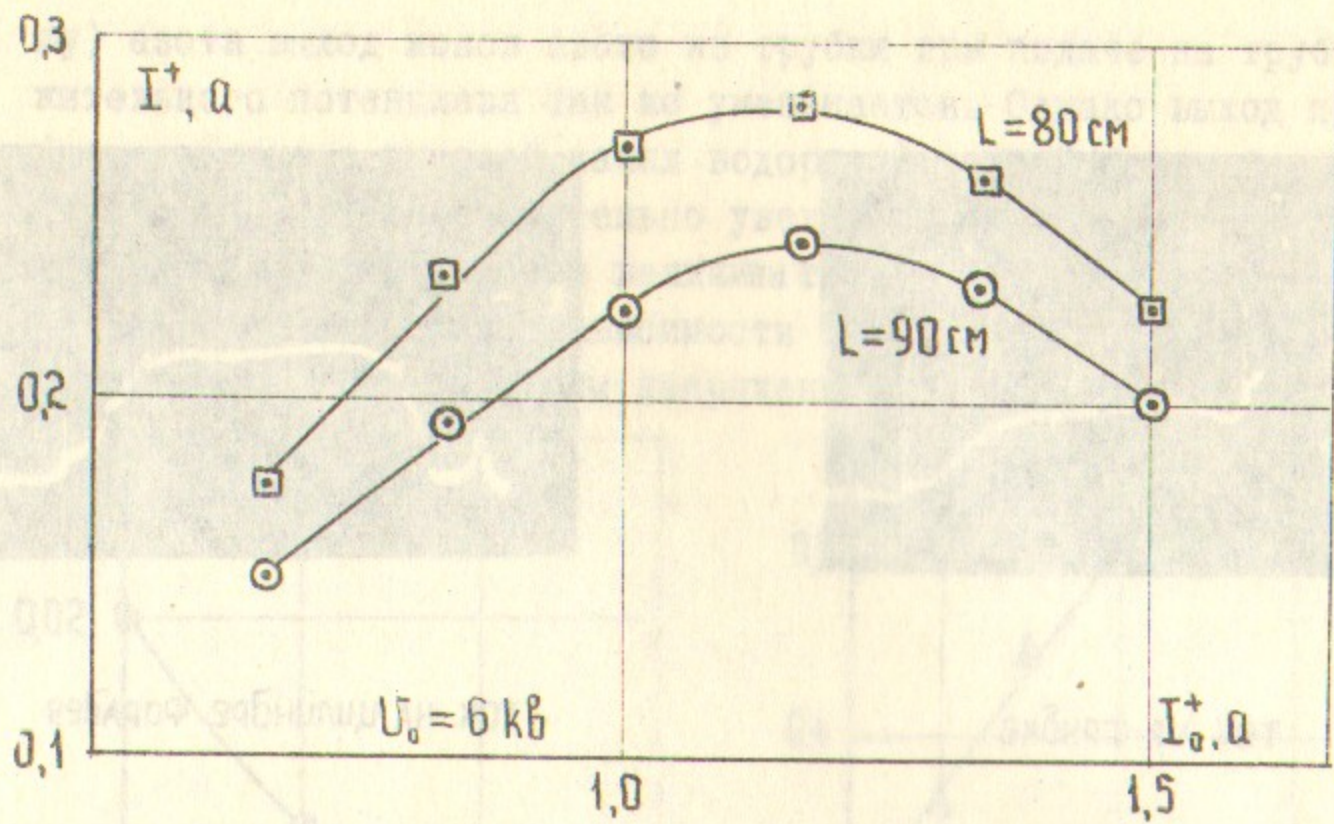


Рис.24.

$$\Delta\varphi \sim \Delta R/L \quad (2)$$

(ΔR - разность радиусов нейтрализующей трубки и входного в трубку пучка H^+ , L - длина нейтрализующей трубки), т.е. расходимость определяется геометрией нейтрализующей трубки.

Дополнение I

Методика измерений

а) Измерение тока ионов в пучке

Ионный ток в пучке измерялся устройством, изображенным на рис.25.

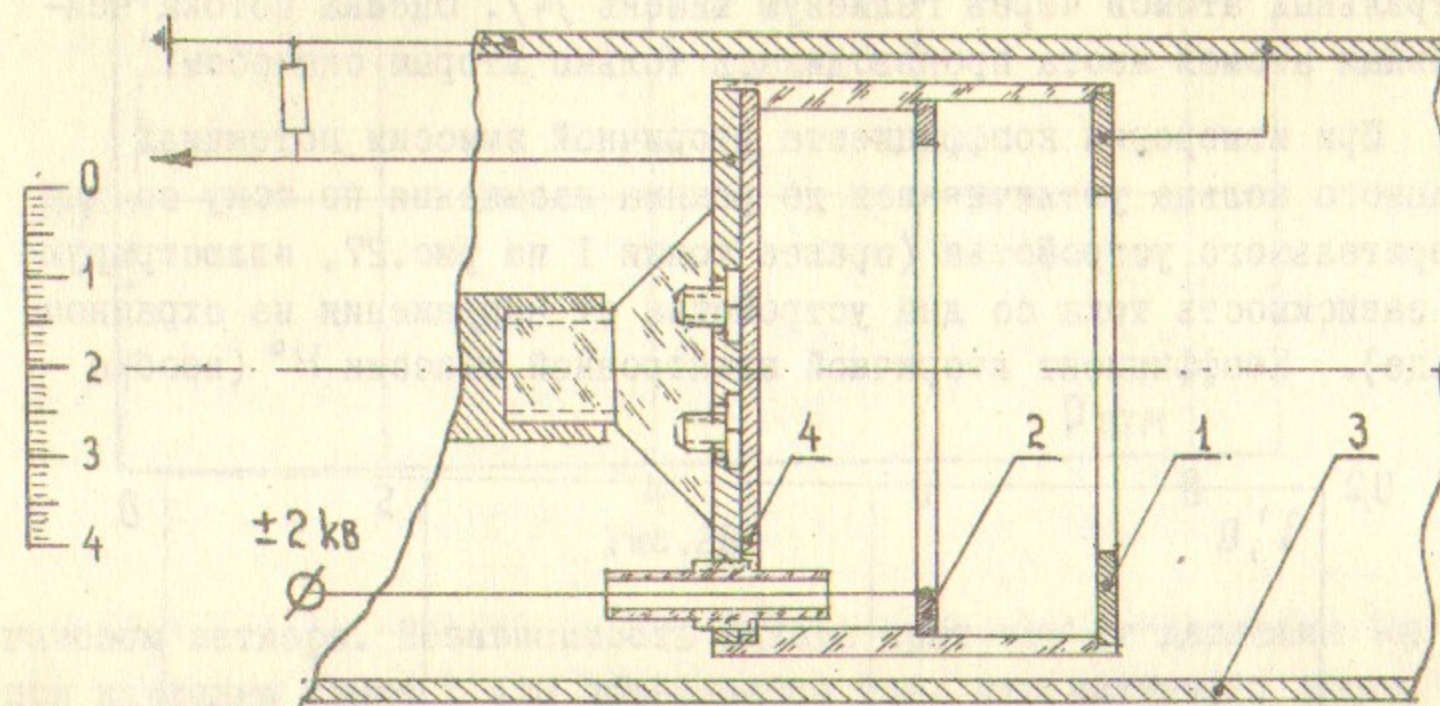


Рис.25

Экранное кольцо (1), защищающее охранное кольцо (2) от попадания на него ионов, соединено с заземленной трубкой (3). На охранное кольцо отрицательный потенциал, подавляющий вторичную электронную эмиссию. Типичная зависимость тока со дна (4) от потенциала на кольце (2) изображена на рис.26. Измерения проводились

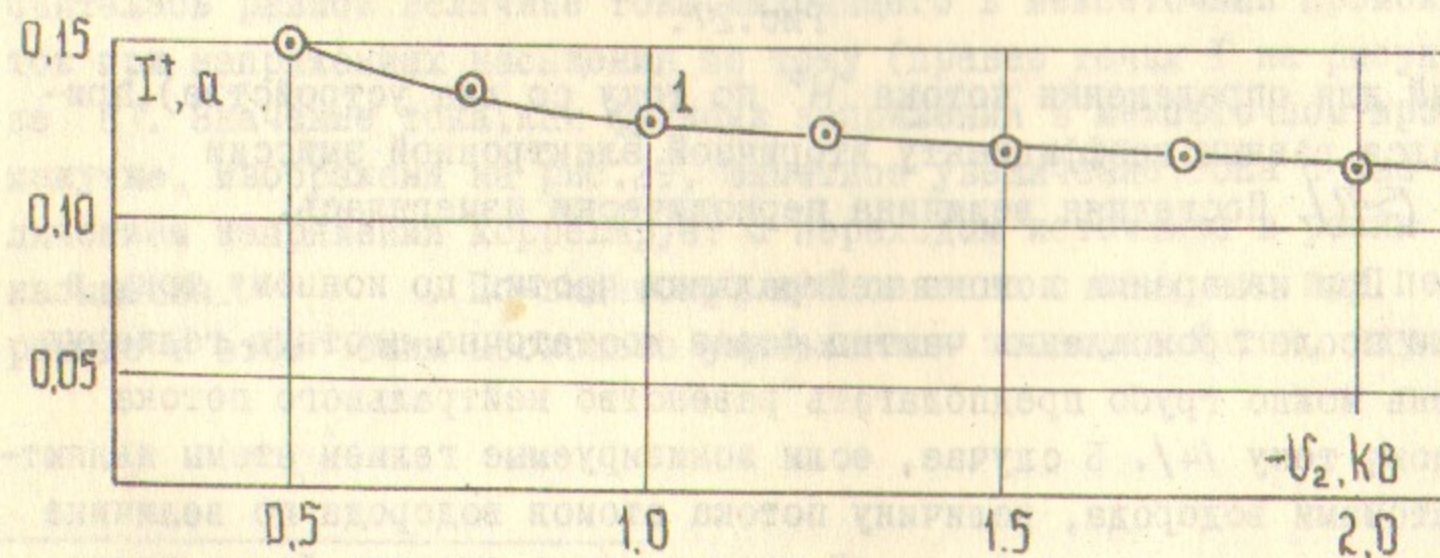


Рис.26

на плато, за точкой I, при отрицательных напряжениях - 1,5-2 кв.

б) Измерения потока нейтральных частиц.

Поток нейтральных атомов водорода измерялся, в основном, по вторичной электронной эмиссии, вызываемого со дна устройства изображенного на рис.25, и по ионному току, после прохождения нейтральных атомов через гелиевую мишень /4/. Оценка потока нейтральных атомов азота производилась только вторым способом.

При измерении коэффициента вторичной эмиссии потенциал охранного кольца увеличивался до режима насыщения по току со дна измерительного устройства (правее точки I на рис.27, иллюстрирующей зависимость тока со дна устройства от напряжения на охранном кольце). Коэффициент вторичной электронной эмиссии H^0 (необхо-

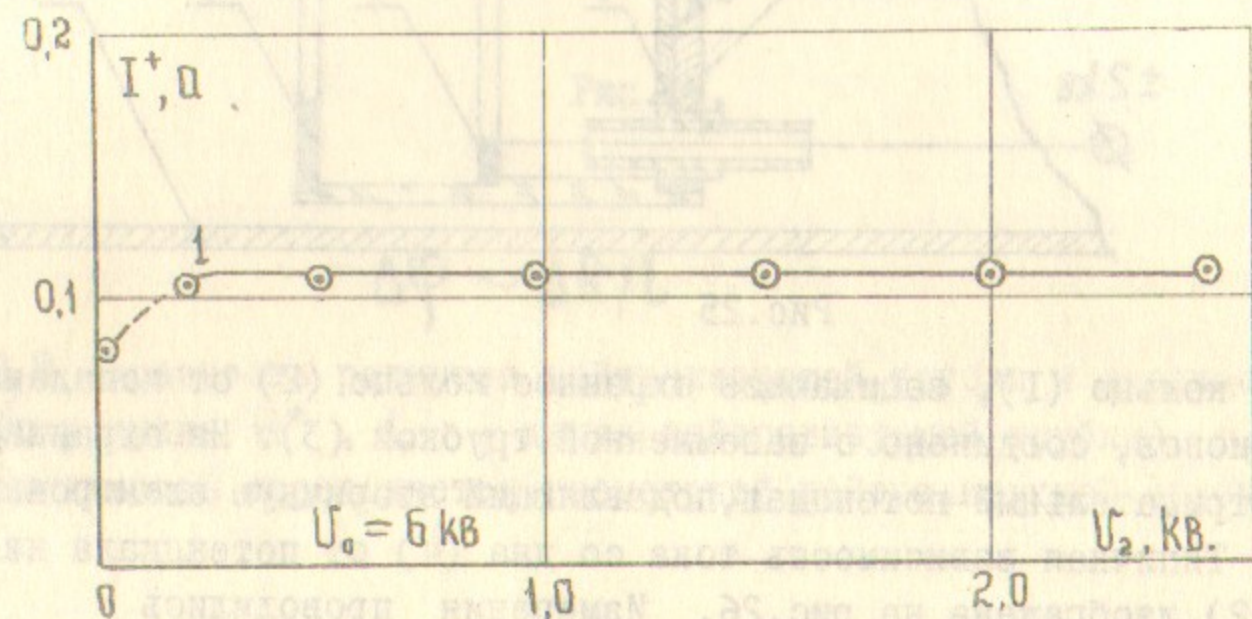


Рис.27.

димый для определения потока H^0 по току со дна устройства), принимался равным коэффициенту вторичной электронной эмиссии H^+ /5-7/. Последняя величина периодически измерялась.

При измерении потока нейтральных частиц по ионному току в пучке после прохождения частиц через достаточно плотную гелиевую мишень можно грубо предполагать равенство нейтрального потока ионному току /4/. В случае, если ионизируемые гелием атомы являются атомами водорода, величину потока атомов водорода по величине протонного тока после гелиевой мишени можно оценить более точно -

для этого необходимо разделить протонный ток на долю протонного тока в равновесной смеси H^0 , H^+ после гелиевой мишени /3/. На рис.28 изображена зависимость выхода H^+ от давления гелия в

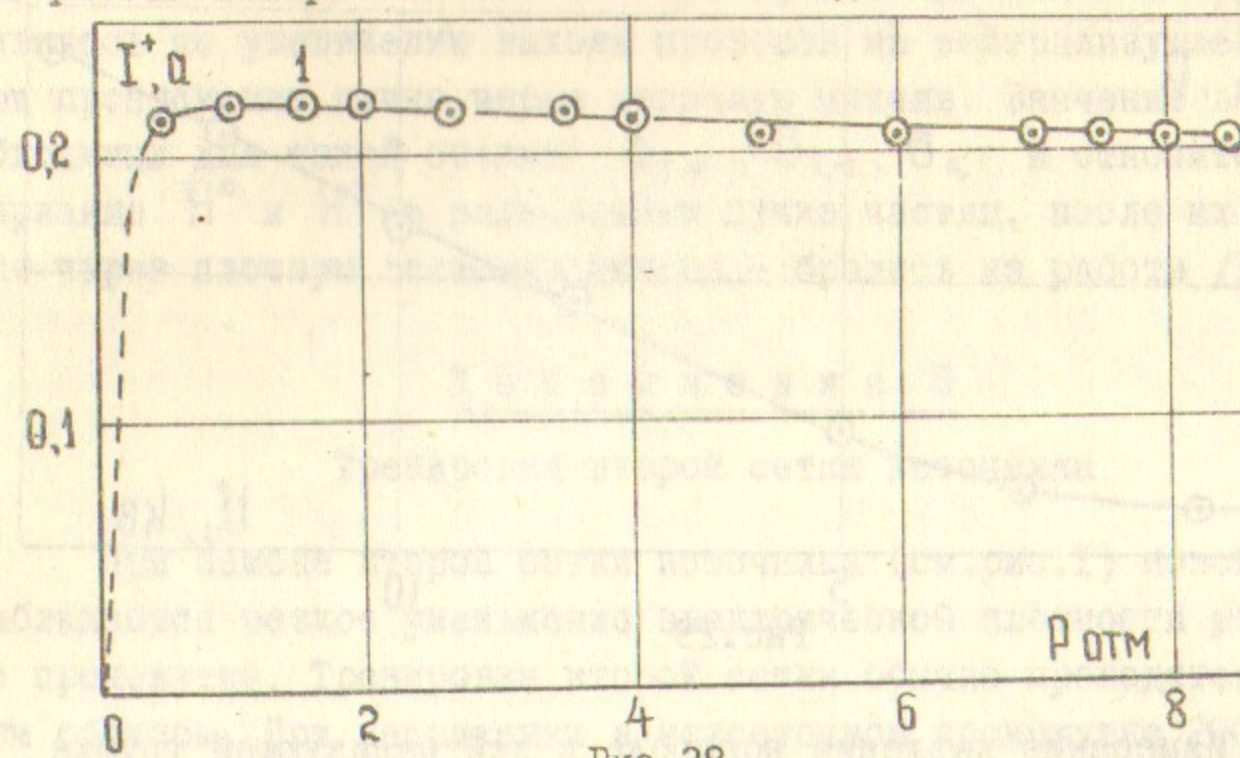


Рис.28

газовом затворе. Независимость выхода протонов от давления He при давлении свыше I атм объясняется тем, что начиная с этого давления после гелиевой мишени выходит уже равновесная смесь. Обычно измерения ионного тока производились при давлении гелия в затворе 2 атм.*

в) Измерение тока на нейтрализующую трубку

Измерения тока на трубку производились для оценки количества плазмы, выходящей в межсеточный промежуток. Величина тока H^+ считалась равной величине тока, выходящего в межсеточный промежуток при напряжениях насыщения по току (правее точки I на рисунке 8). Значение тока, как функции напряжения в межсеточном промежутке, изображены на рис.29. Заметное увеличение тока с увеличением напряжения коррелирует с переходом источника в режим насыщения. По-видимому, это связано с тем, что при переходе в этот режим несколько уменьшается плазменный ток, идущий

* Газовое питание дуги и гелиевой мишени производилось быстродействующим затвором, описанном в /8/. Напряжения питания затвора - 300 в, разрядная ёмкость 2 μF . Диаметр выходного отверстия - 10 μk .

на первую сетку, из-за уменьшения общей поверхности контакта плазмы с первой сеткой.

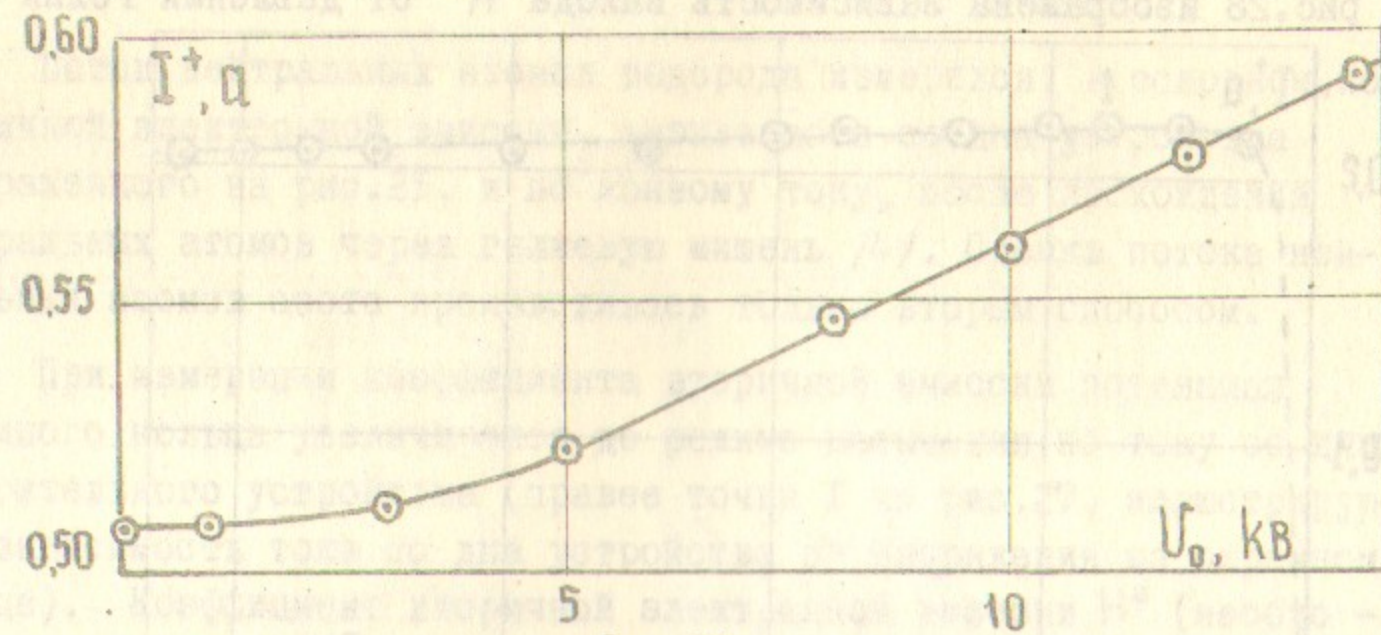


Рис. 29

г) Измерение давления водорода в нейтрализующей трубке

Давление водорода по длине трубки измерялось малогабаритной манометрической лампой, конструкция которой изображена на рис. 30. Напряжение на аноде лампы (1) $-90 \pm 100 \text{ в}$, напряжение на вольфрамовой спирали (2) $+150 \text{ в}$. Накальная вольфрамовая

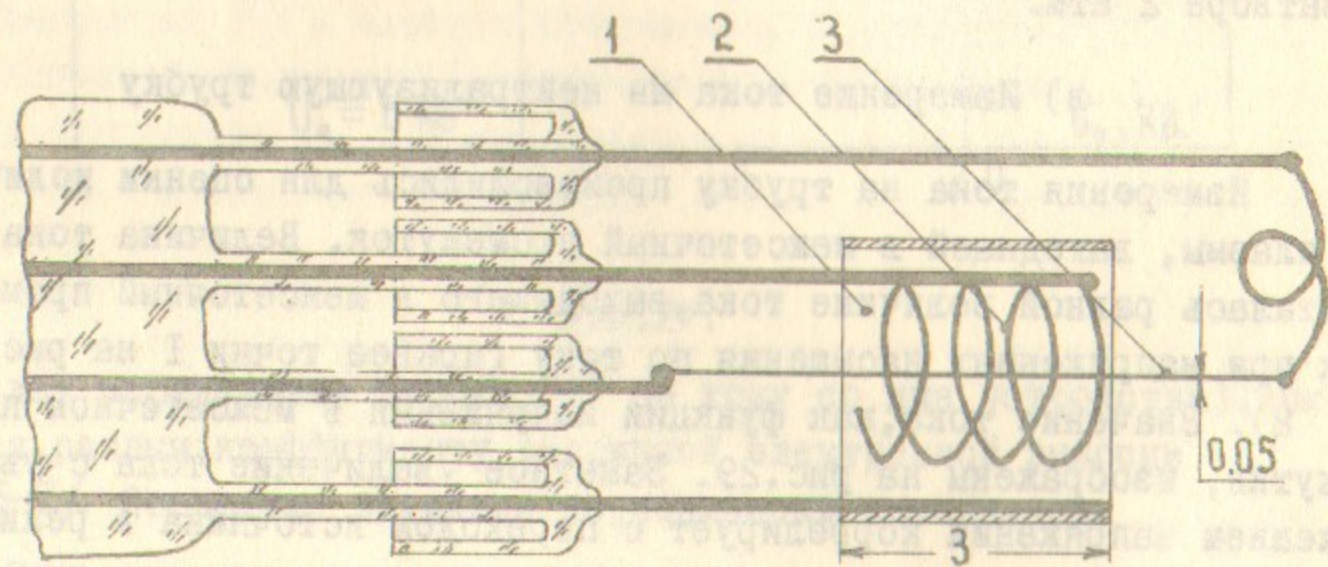


Рис. 30.

нить (3) находилась под потенциалом земли. Ток накала I_a , ток эмиссии $\sim 5 \text{ ма}$. Лампа работала в режиме пространственного заря-

да. Чувствительность лампы $\sim I \frac{\text{мкА}}{10^{-3} \text{ мм Нг}}$. Верхний предел измерения давления $\sim 10^{-1} \text{ мм Нг}$. Среднее давление в трубке оценивалось по увеличению выхода протонов из нейтрализующей трубки при пропускании пучка через гелиевую мишень. Значение величин необходимых для такой оценки $\beta_{1,0}, \beta_{0,1}, \beta_{0,1}$ и относительное содержание H^0 и H^+ в равновесном пучке частиц, после их прохождения через плотную гелиевую мишень — брались из работы [3].

Дополнение II

Тренировка второй сетки источника

При замене второй сетки источника (см. рис. I) новой сеткой, наблюдается резкое уменьшение электрической плотности межсеточного промежутка. Тренировка второй сетки обычно проводится следующим образом. При напряжении в межсеточном промежутке $200 \pm 400 \text{ в}$ источник работает до тех пор, пока процент пробоев межсеточного промежутка не уменьшится до $40 \pm 50\%$. После этого напряжение повышается до $3-5 \text{ кВ}$. Если через несколько десятков импульсов (длительность импульса 100 мсек , частота повторения $0,2 \text{ сек}^{-1}$) пробой промежутка исчезает, можно считать, что процесс тренировки закончен. Если же пробой продвигается, — цикл тренировки повторяется. Обычно тренировка новой сетки длится $2-4$ часа.

На рис. 31 изображены зависимости коэффициентов вторичной

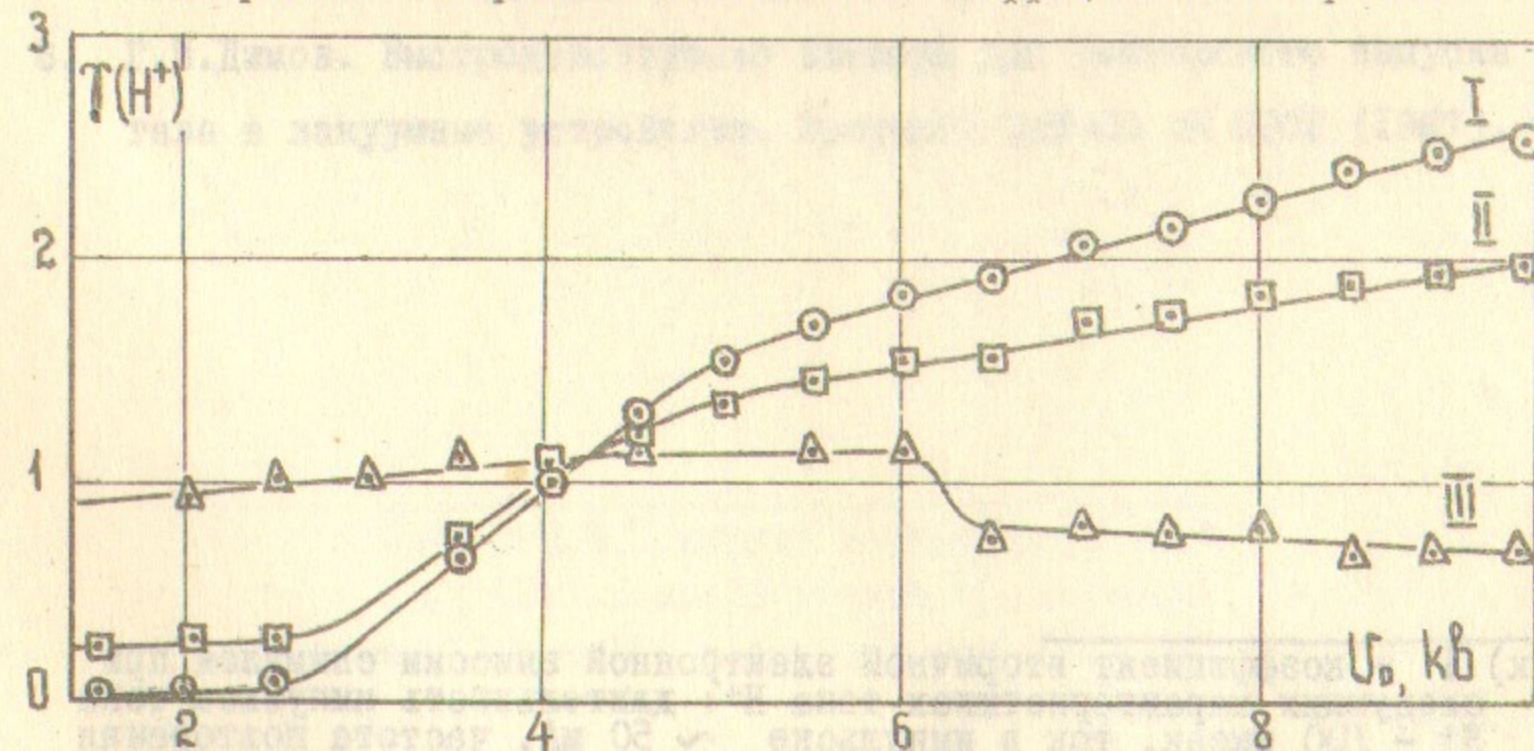
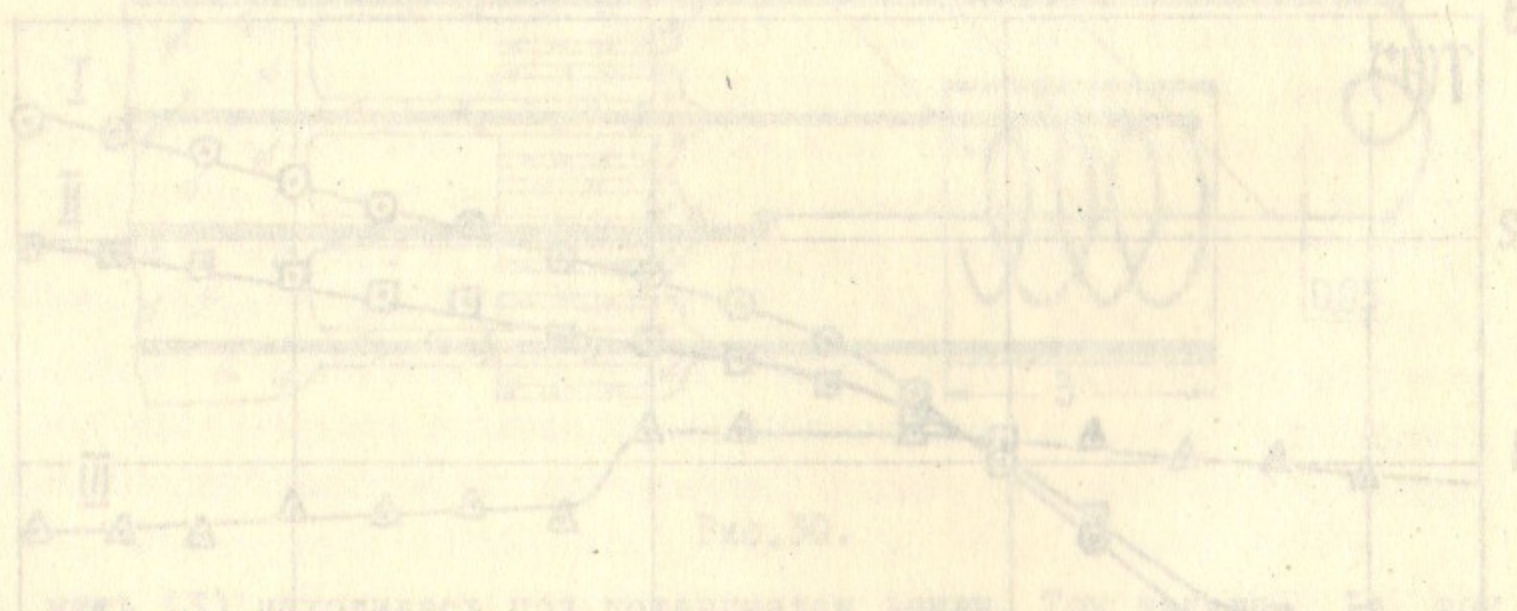


Рис. 31

электронной эмиссии, вызываемой атомами водорода с поверхности Mo , от величины энергии атомов. Кривая I получена при экспериментах с Mo , поверхность которого не подвергалась длительной бомбардировке атомами водорода; кривая II и III получены при экспериментах с поверхностями Mo , подвергнутыми бомбардировке атомами водорода (кривая $\sim 20 \text{ мАсек}$, кривая $\sim 200 \text{ мАсек}$). Аналогичные результаты имели место при экспериментировании со сплавом Д16 и с (u, X) . Это даёт основание предполагать, что процесс трионирования сетки связан с резким подавлением вторичной электронной эмиссии с нитей, которая является причиной пробоя межсеточного промежутка.



x) γ - коэффициент вторичной электронной эмиссии снимался при следующих характеристиках тока H^+ : длительность импульса тока H^+ - 100 мсек, ток в импульсе $\sim 50 \text{ мА}$, частота повторения импульсов 0,2 гц.

Л и т е р а т у р а

1. Г.И.Димов, Ю.Г.Кононенко, О.Я.Савченко, В.Г.Шамовский. Эксперименты по получению интенсивных пучков ионов водорода. Препринт ИЯФ СО АН СССР (1966). ЖТФ (в печати).
2. Г.И.Димов, О.Я.Савченко. Мощный импульсный источник нейтральных атомов и отрицательных ионов водорода. Препринт ИЯФ СО АН СССР (1967). ЖТФ (в печати).
3. Samuel K. Allison Rev. Mod. Phys. 30, 1137 (1958)
4. О.Я.Савченко. Получение пучков ионов ионизацией нейтральных атомов на гелиевой мишени. Препринт ИЯФ СО АН СССР (1967) ЖТФ (в печати).
5. P.M. Stieg, C.F. Bazelet, G.E. Evens. Phys. Rev. 96, 973 (1954)
6. E.S. Chambers. Phys. Rev. 133, 4A, 1204 (1964)
7. О.Я.Савченко. Вторичная электронная эмиссия, вызываемая нейтральными атомами и разнозарядными ионами водорода. Препринт ИЯФ СО АН СССР (1967). ЖТФ (в печати).
8. Г.И.Димов. Быстродействующие затворы для импульсного напуска газа в вакуумные устройства. Препринт ИЯФ СО АН СССР (1967).

