

А.93

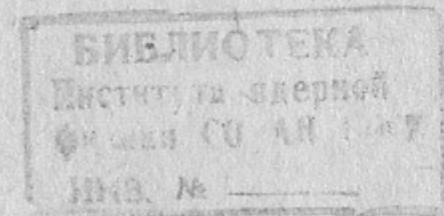
15

**И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР**

ПРЕПРИНТ И ЯФ 78-32

В.Л.Ауслендер, В.Н.Лазарев, А.Д.Панфилов

**ИОННЫЙ ИСТОЧНИК ИМПУЛЬСНОГО
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО УСКОРИТЕЛЯ
НА ЭНЕРГИЮ 1,5 МэВ.**



Новосибирск

1978

ИОННЫЙ ИСТОЧНИК ИМПУЛЬСНОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО
УСКОРИТЕЛЯ НА ЭНЕРГИЮ 1,5 МэВ

В.Л.Ауслендер, В.Н.Лазарев, А.Д.Панфилов

А Н Н О Т А Ц И Я

Описан импульсный ионный источник с разрядом типа Пеннинга с катодной иглой в разрядной камере. Приводятся экспериментальные данные по системе начального формирования пучка ионов водорода с током 140 мА и напряжением экстракции 50 кВ (длительность импульсов ионного тока 4 мкс, частота повторения импульсов 50 Гц). Исследованы параметры пучка после экстракции и на выходе однопотенциальной электростатической линзы, фокусирующее действие которой усилено сетками.

1. ВВЕДЕНИЕ

Описываемый в данной работе ионный источник используется в импульсном высокочастотном протонном ускорителе с энергией 1,5 МэВ, который служит инжектором для протонного синхротрона Б-5 на энергию 200 МэВ /1/ .

Создание протонного источника с импульсным током более 100 мА с большой частотой повторения и сравнительно малым фазовым объемом представляет большой практический интерес в связи с потребностью в увеличении интенсивности пучков заряженных частиц в протонных ускорителях. К настоящему времени разработано и исследовано большое количество различных по назначению и устройству ионных источников, описанных, например, в работах /2,4,5, 6,7/ .

Простота конструкции, отсутствие накаливаемого катода с ограниченным сроком службы, повышенное содержание атомарных ионов водорода в ионном пучке определили выбор источника с холодными катодами и осцилляцией в магнитном поле. За основу конструкции был принят вариант источника с катодной иглой /8/ , обладающий хорошими эмиссионными свойствами.

2. КОНСТРУКЦИЯ ИСТОЧНИКА

На рис.1 представлен общий вид источника с фокусирующей линзой. Вдоль оси разрядной камеры при помощи электромагнита 1 и магнитных полюсов 2,3 создается магнитное поле ~ 700 Гс, в котором между верхним и нижним катодами зажигается самостоятельный разряд при подаче положительного напряжения на анод 4. Катоды 5 и 6 выполнены из стали X18H9T и имеют углубления, обеспечивающие оптимальные условия разряда. В верхнем катоде для стабилизации положения интенсивной части разряда относительно отверстия эмиссии установлено вольфрамовое острие. В углубление нижнего катода имеется отверстие для выхода плазмы в ускоряющий промежуток. Диаметр отверстия эмиссии, равный 2 мм, выбран из условия газовой экономичности и обеспечения необходимых эмиссионных характеристик.

Одной из причин, ограничивающих срок службы источников подобного типа, является напыление материала катодов на анодный изолятор. Для уменьшения напыления изолятор, состоящий из двух керамических колец, помещен в углубление анода.

Анодный блок состоит из двух колец 7 и 8, изготовленных из стали X18H9T, двух керамических изоляторов и медного установочного кольца 9. В собранном виде анодный блок сваривается аргоннодуговой сваркой по внутреннему диаметру анода. Подача напряжения разряда осуществляется через стержень 10, изготовленного из кобальта.

Нижний катод, анодный блок, верхний катод вставлены в стакан II, который сварен с магнитными полюсами, образуя герметичный объем. Через магнитопровод 12, имеющий впаянную трубку водяного охлаждения, источник крепится на высоковольтном керамическом изоляторе 13 (использован анодный изолятор генераторной лампы ГИ-50А). Все вакуумные уплотнения выполнены на индии.

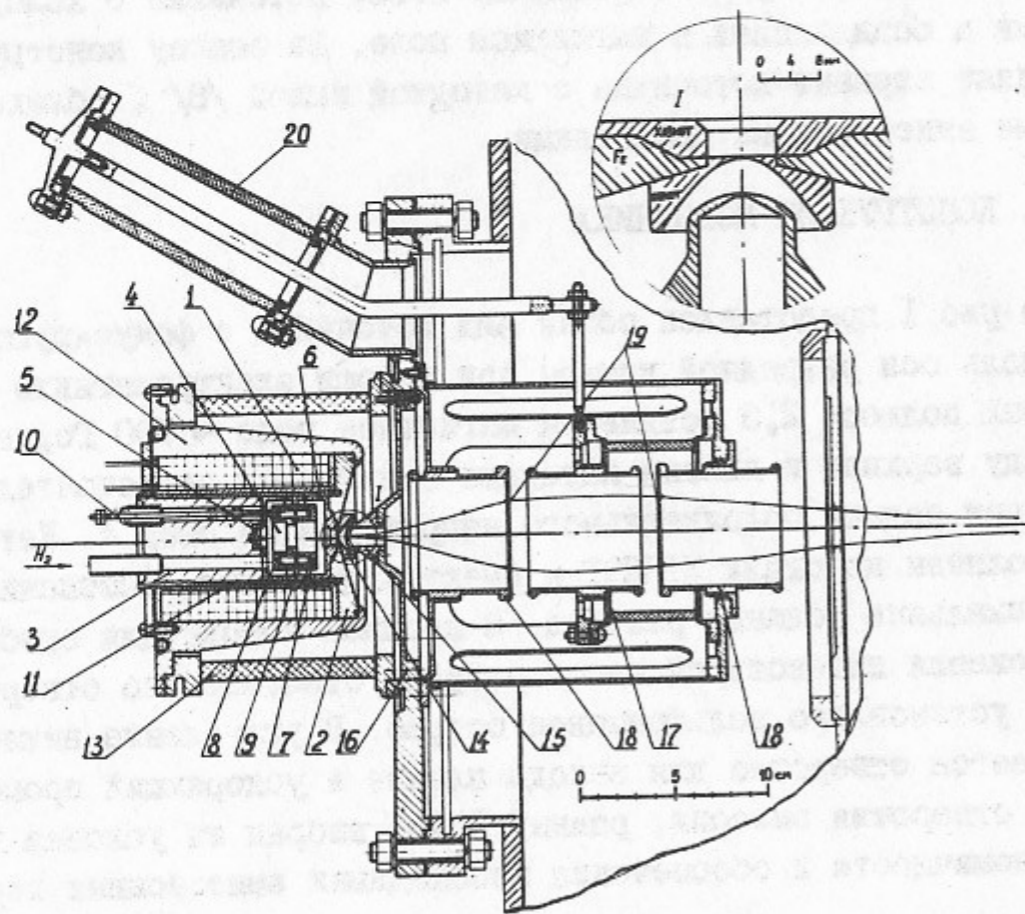


Рис. 1. Общий вид источника

Электроды I4 и I5 образуют оптику Пирса для извлечения и начального формирования конического ионного пучка с углом сходимости 3° . Форма электродов и их положение определены с учетом найденной из опыта величины фазового объема и спектрального состава пучка на основании методики, изложенной в работе [9]. Конструкция электрода I5 предусматривает возможность изменять расстояние между электродами с помощью подвижной шайбы I6, на которой укреплен электрод I5. Материал электродов сталь X18H9T, рабочие поверхности отполированы.

Дальнейшее формирование и фокусировка ионного пучка осуществляется электростатической линзой, состоящей из потенциального электрода I7 и двух электродов I8 под нулевым потенциалом. Внутренний диаметр электродов равен 60 мм. Фокусирующее действие линзы усилено применением сеток I9 у заземленных электродов. Сетки линейные, выполненные из вольфрамовой проволоки диаметром 50 микрон с шагом 1 мм. Линза позволяет практически без потерь провести пучок и сфокусировать его в пятно, не превышающее 8 мм в диаметре (см. рис. 4).

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для измерения фазового объема пучка было использовано устройство, аналогичное описанному в работах [3, 10]. Измеряемый пучок сбрасывается на тонкую титановую фольгу ($\delta = 50$ микрон), в которой прорезаны узкие параллельные щели шириной 0,4 мм через 4 мм друг от друга. Прошедший через щели пучок принимается после дрейфового пространства (70 мм) на алюминиевую фольгу, покрытую тонким слоем вакуумного масла. При определенном времени экспозиции (~ 45 мин) коллимированный таким образом пучок дает видимое изображение щелей на фольге. Анализируя расходимость пучка по изображениям для каждой щели, можно получить распределение частиц по координате и поперечным скоростям по всей области, занятой пучком.

Фазовый портрет пучка на расстоянии 60 мм от источника показан на фотографии рис. 2а. Там же изображено положение пучка на фазовой плоскости. Нормализованный эмиттанс равен $1 \cdot 10^{-5}$ см. рад при яркости источника $14 \cdot 10^8 \frac{A}{(см.рад)^2}$.

Обычно на фазовом портрете наблюдается многократное изображение щелей, что указывает на фактическое увеличение фазового объема пучка. Это явление объясняется или искажением формы плазменной границы в эмиссионном отверстии /8/ или наличием частиц, рождающихся на краях плазменной границы в случае использования специальной полости для расширения плазмы после эмиссионного отверстия /3/. Кроме того, установлено, что от конфигурации магнитного поля и катода источника в области отверстия эмиссии также зависит величина поперечного фазового объема. В рассматриваемом случае выбор геометрии магнитного поля, размера эмиссионного отверстия, оптимальной плотности плазмы обеспечили минимальный фазовый объем пучка источника.

Указанная величина нормализованного эмиттанса соответствует температуре протонов в плазме разряда в области эмиссионного отверстия $\sim 1,3\text{В}$, поскольку $V_{\text{нор.}} \approx 2 \cdot Z_i \sqrt{kT/mc^2}$, где Z_i — радиус эмиттирующего отверстия, остальные обозначения общепринятые.

На Рис.2б представлен фазовый портрет пучка на расстоянии 90 мм от центра потенциального электрода линзы. Нормализованный эмиттанс пучка ($4 \cdot 10^{-5}$ см.рад) увеличен по сравнению с эмиттансом пучка источника, как за счет влияния сеток, так и за счет аберраций электростатической линзы.

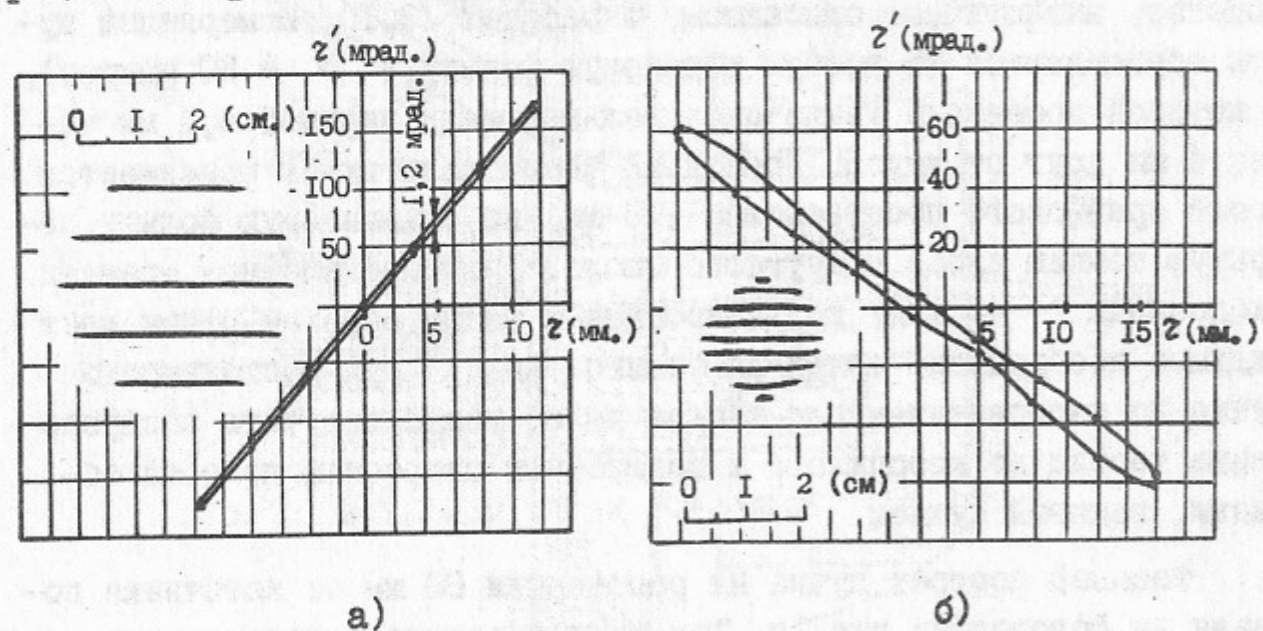


Рис.2. Фазовый портрет и эмиттанс ионного пучка.

а) на расстоянии 60 мм от источника.

б) на расстоянии 90 мм от центра потенциального электрода линзы.

При изменении тока разряда от 2 А до 6,5 А падение напряжения на разряде остается постоянным ($\sim 470\text{В}$). Максимальная величина тока разряда ограничена элементами схемы питания. Падение напряжения на разряде не зависит также от магнитного поля в интервале 400 ± 700 Гс.

Напряжение зажигания разряда ~ 1000 В. и время развития устойчивого разряда ~ 10 мксек.

Минимальный расход газа определялся по устойчивому горению разряда и составляет 50 норм.см³/час. Напуск газа осуществляется через палладиевую ($\text{Pd} + \text{Ag } 20\%$) трубку при нагревании последней. При работе натекателя больше 10–15 часов эффект фильтрации палладием водорода резко уменьшался. Первоначальные свойства трубки полностью восстанавливались, если трубку нагреть в вакууме.

Содержание ионов H_1^+ , H_2^+ , H_3^+ в пучке, измеренное с помощью поворотного магнита, составляет 65%, 20% и 5% соответственно. В пучке присутствуют также тяжелые ионы примесей, суммарное содержание которых $\sim 10\%$. Применение технического водорода с напуском через игольчатый вентиль увеличивает содержание примесей в пучке до 30%.

Ионный ток измерялся на входе в ускоряющий зазор линейного ускорителя. Для измерения использовался цилиндр Фарадея, в котором для устранения влияния электронов вторичной эмиссии перед коллекторным электродом установлены два охранных электрода (один под нулевым потенциалом, другой под потенциалом -350В). Зависимость тока ионов от вытягивающего напряжения для трех расстояний между электродами показана на рис.3. Рост тока с увеличением приложенного напряжения мало отличается от закона "3/2" с первенсом, зависящим от конкретной геометрии вытягивающих электродов.

Огибающая ионного пучка вдоль всего тракта, снятая экспериментально по отпечаткам на алюминиевой фольге, указана на рис.1.

Форма импульса ионного тока, вытягивающего напряжения, фотография отпечатка пучка в кроссовере на входе в ускоряющий зазор и распределение плотности тока по радиусу в этой области показаны на рис.4.

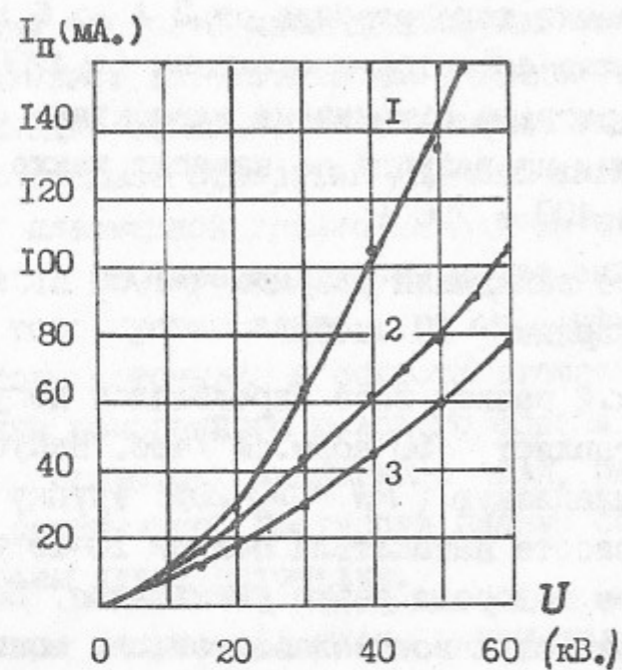


Рис.3. Зависимость тока ионов от амплитуды вытягивающего напряжения для трех значений расстояния между электродами. 1. $d=3,5$ мм, 2. $d=4,0$ мм, 3. $d=4,5$ мм

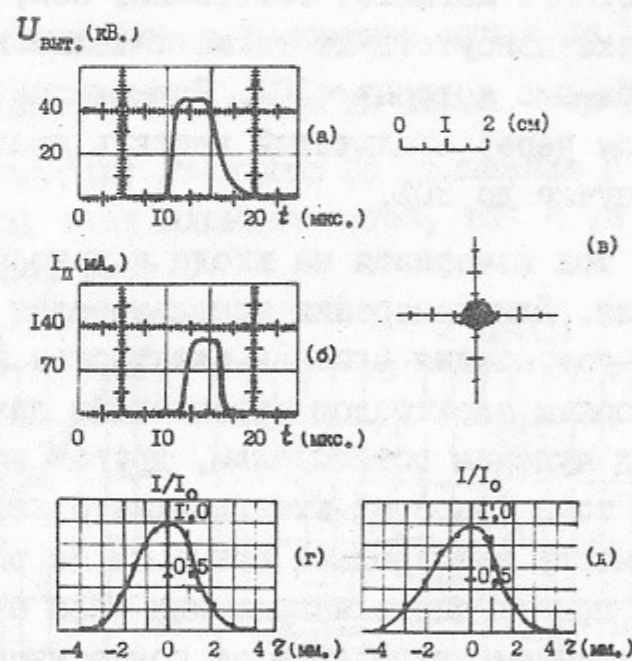


Рис.4. Характеристики ионного пучка источника.
 а) Осциллограмма импульса вытягивающего напряжения.
 б) Осциллограмма импульса ионного тока на цилиндр Фарадея. в) Фотография изображения пучка на алюминиевой фольге на расстоянии 240 мм: от центра среднего электрода линзы. г) Распределение плотности тока по радиусу поперечного сечения пучка в вертикальной плоскости. д) Распределение плотности тока по радиусу поперечного сечения пучка в горизонтальной плоскости. Напряжение на линзе +23 кВ.

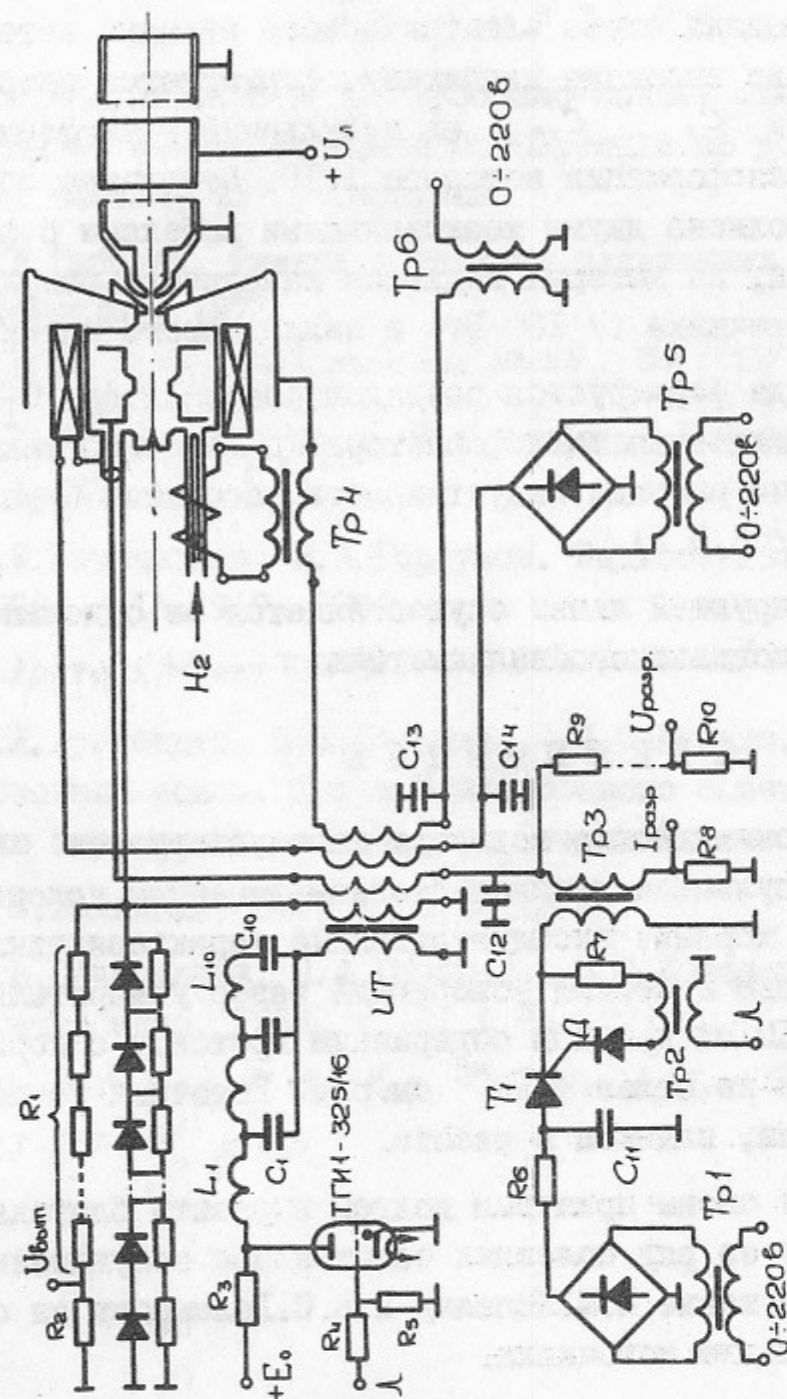


Рис.5. Принципиальная схема питания протонного источника.

Л и т е р а т у р а

На Рис.5 приведена схема электрического питания источника. Вытягивающий импульс высокого напряжения формируется разрядом линии L_1, \dots, L_{10} и C_1, \dots, C_{10} на импульсный трансформатор ИТ, коэффициент трансформации которого 1:10. Вторичная обмотка трансформатора выполнена двумя коаксиальными кабелями с фторопластовой изоляцией, по которым подается напряжение разряда, питание магнита источника (~ 100 Вт) и палладиевого натекателя.

Импульс разряда формируется разрядом конденсатора C_{II} на индуктивность намагничения трансформатора Tr_3 и сопротивления R_9 . При зажигании разряда индуктивность рассеяния ограничивает ток разряда ($\sim 6,5$ А).

Питание фокусирующей линзы осуществляется от отдельного регулируемого высоковольтного выпрямителя.

З А К Л Ю Ч Е Н И Е

Описанный источник ионов водорода эксплуатируется в течение года на импульсном высокочастотном линейном ускорителе протонов и показал хорошие эксплуатационные характеристики. Он обеспечивает на входе в первый ускоряющий зазор ускорителя ток ионов в импульсе 140 мА при 65% содержании протонов с нормализованным эмиттансом не более $4 \cdot 10^{-5}$ см.рад. Источник компактен, прост по конструкции, надежен в работе.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Г.Б.Глаголеву за ряд полезных советов при обсуждении результатов работы, а также Н.М.Непеину и В.С.Голенкову за сборку и помощь при наладке источника.

1. В.Г.Абдульманов и др. Протонно-ионный синхротрон Б-5. Доклад на X Международной конференции по ускорителям заряженных частиц, 1977, Серпухов.
2. М.Д.Габович. Физика и техника плазменных источников ионов. Атомиздат, 1972.
3. H. Wroe. *Nucl. Instrum. and Meth.*, 52 (1967), p. 67.
4. А.А.Глазов, М.Кузмяк, Д.Л.Новиков, Л.М.Онищенко. ПТЭ, 1964, № 1, 34.
5. В.В.Вечеславов, В.А.Горбунов. Радиотехника и электроника, 1969, т.14, № 7, 1264.
6. P. Arazd, S. Bliman, R. Geller. *Nucl. Instrum. and Meth.*, 129 (1975), p. 357.
7. В.Л.Ауслендер, О.Н.Брежнев, О.Я.Савченко. Капиллярный СВЧ-источник ионов. Труды У Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. т.1, Издательство "Наука", 1977.
8. Ю.Я.Лапицкий. ПТЭ, 1970, № 2, 37.
9. В.В.Вечеславов, В.А.Горбунов, В.И.Кононов. Радиотехника и электроника, 1968, т.13, № 8, 1472.
10. M. Betigeri, M. Bhatia, T. David. *Nucl. Instrum. and Meth.*, 128 (1975), p. 29.

Работа поступила - 7 февраля 1978 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.ПОПОВ

Подписано к печати 12.IV-1978 г. № 02800

Усл. 0,6 печ.л., 0,4 учетно-изд.л.

Тираж 150 экз. Бесплатно

Заказ № 32

Отпечатано на ротапринте ИФ СО АН СССР