

3

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
СО АН СССР

В.Г.Соколов, И.Я.Тимошин

ИМПУЛЬСНАЯ ПАРОМАГНИЕВАЯ ПЕРЕ-  
ЗАРЯДНО - ЗАГРАДИТЕЛЬНАЯ МИШЕНЬ  
ДЛЯ МОЩНЫХ ИНЖЕКТОРОВ  
АТОМОВ ВОДОРОДА

ПРЕПРИНТ 81 - 03



ИМПУЛЬСНАЯ ПАРОМАГНИЕВАЯ ПЕРЕЗАРЯДНО-ЗАГРАДИТЕЛЬНАЯ  
МИШЕНЬ ДЛЯ МОЩНЫХ ИНЖЕКТОРОВ АТОМОВ ВОДОРОДА

В.Г.Соколов, И.Я.Тимошин

## А Н Н О Т А Ц И Я

На макете импульсной паромagneвовой струйной мишени изучено распределение плотности паров магния в струе, ее перезарядные и заградительные, для холодного газа источника, свойства. Струя формируется соплом "с центральным телом" и коллимирующими ограничителями. Длительность импульса струи  $\sim 1$  сек. Диаметр перезарядного канала 100 мм. При толщине мишени  $\sim 3 \cdot 10^{15}$  ат.см<sup>-2</sup> и длительности импульса водорода 0,2 сек относительный перепад давления на струе достигает 400 в диапазоне давлений перед струей  $5 \cdot 10^{-5} \div 10^{-3}$  тор. При перезарядке пучка Н<sup>+</sup> с энергией 10 кэВ выход Н<sup>0</sup> составляет  $\approx 85\%$ .

ИМПУЛЬСНАЯ ПАРОМАГНИЕВАЯ ПЕРЕЗАРЯДНО-ЗАГРАДИТЕЛЬНАЯ  
МИШЕНЬ ДЛЯ МОЩНЫХ ИНЖЕКТОРОВ АТОМОВ ВОДОРОДА

В.Г.Соколов, И.Я.Тимошин

В установке "АМБАЛ", плазменной магнитной ловушке с амбиполярными пробками /1/, разрабатываемой в Институте ядерной физики СО АН СССР, для нагрева и поддержания плазмы будут использованы пучки быстрых атомов водорода, получаемые путем перезарядки протонов с энергией  $20 + 25$  кэВ на струйной парамагневой мишени. Как показано в /2-3/, при достаточной плотности струи прохождение газа через нее затруднено и на ней можно создать значительный перепад давлений. Это обстоятельство позволило нам надеяться, что струя может эффективно препятствовать проникновению холодного газа из инжектора в камеру "Амбала".

Для изучения возможности согласования перезарядных и заградительных свойств парамагневой струи в нужном нам режиме работы, а также других свойств магневой струи, был изготовлен стенд, схематически изображенный на рис.1.

Установка представляет собой вакуумную камеру (1) с присоединенным к ней парогенератором. Парогенератор состоит из бачка (2) объемом 5 л, заполненного  $\sim 3$  кг магния, клапана (4), формирующего сопла (3) и трех нагревателей, окруженных многослойными тепловыми экранами из нержавеющей стали. Нагреватели позволяют независимо регулировать нагрев бачка, клапана и сопла, температуры которых контролируются с помощью хромель-алюмелевых термопар. Материалом для нагревателей служит танталовая проволока диаметром 1 мм. Изоляция осуществляется с помощью керамических трубок. Общая подводимая мощность  $\sim 2,5$  квт. Уточнение показаний термопар производится по температуре плавления магния ( $649,5^{\circ}\text{C}$ ). Во время плавления и затвердевания магния Э.Д.С. термопары бачка длительное время оставались постоянной и являлись контрольной точкой для коррекции градуировки термопары бач-

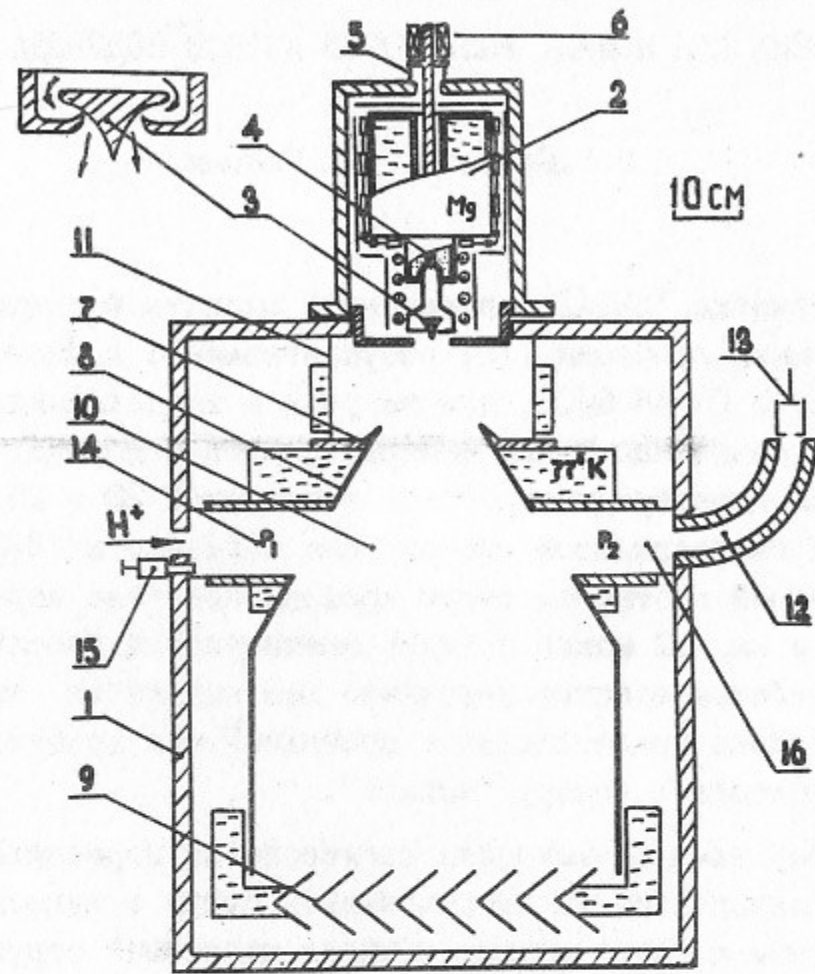


Рис.1. Схема стенда. Вид сверху.

ка. Ввиду идентичности изготовления градуировка термомпар клапана и сопла принималась такой же, как для термомпары бачка.

Клапан парогенератора представляет собой молибденовый стержень диаметром 10 мм, заточенный на конус с углом раствора  $90^\circ$  и притертый по седлу из железа "армко". Проходное отверстие клапана  $\varnothing 6$  мм. Закрывание осуществляется атмосферным давлением на сильфон (5) и дополнительной пружиной; открывание - электромагнитом (6).

Формирующее сопло представляет собой две щели, разделенные "центральным телом" /4/. Ширина щелей 0.6 мм, длина - 125 мм. Отличительным свойством такого сопла явля-

ется то, что пограничный пристеночный заторможенный слой газа находится внутри струи. Вследствие этого формирование струи должно улучшиться. Предварительные эксперименты на  $\text{CO}_2$  подтвердили это (см.рис.2).

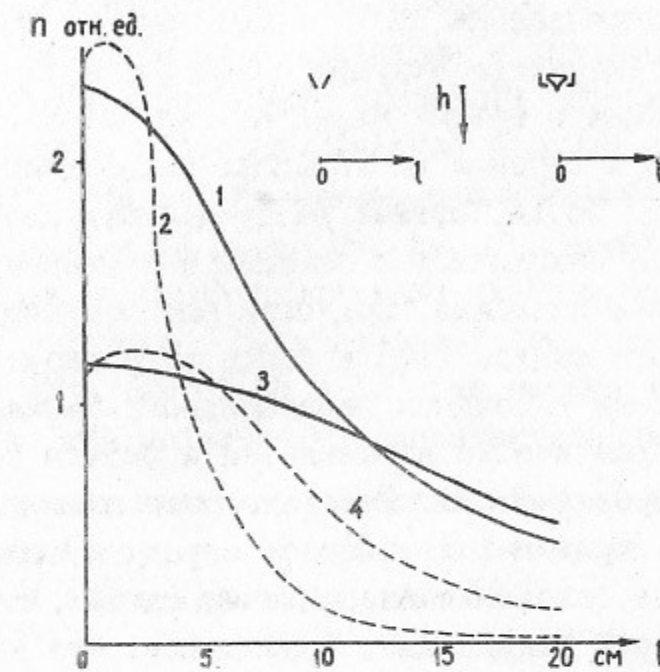


Рис. 2

Распределение плотности в недиафрагмированной струе  $\text{CO}_2$  при истечении из щелевого сопла (кривая 1  $h = 7.5$  см; кривая 3  $h = 15$  см), из сопла с центральным телом (кривая 2  $h = 7.5$  см; кривая 4  $h = 15$  см).

На расстоянии 140 мм от сопла расположены ограничивающие струю закрылки (7), далее охлаждаемый жидким азотом раструб (8) и жалюзи (9) для конденсации паров магния и откачки газа. Перезарядная область (10) находится на расстоянии 200 мм от среза сопла, имеет диаметр 100 мм и длину  $\sim 300$  мм. Во избежание проникновения газа с выхода на вход струи область входа струи в раструб отделена от объема камеры перегородками (11). Парогенератор отделен от конденсатора медным экраном, охлаждаемым водой, что позволяет снизить расход жидкого азота на испарение.

В вакуумной камере с помощью магнитоэридного насоса поддерживался вакуум  $(2+3) \cdot 10^{-6}$  тор. Температура бачка варьировалась в пределах  $700^{\circ} + 900^{\circ}\text{C}$ , что соответствует давлению паров магния в бачке  $5+80$  тор. Во избежание конденсации паров магния на рабочих поверхностях клапана и сопла температура последних поддерживалась на  $70^{\circ} + 100^{\circ}$  выше температуры бачка. Клапан парогенератора открывался на  $0.5 + 2$  сек. Плотность паров магния в мишени нарастала за  $0.1$  сек и оставалась неизменной в течение всего импульса. Задний фронт составлял  $\sim 0.2$  сек. Общая картина распределения плотности паров магния в струе находилась с помощью взвешивания магния, напыленного на медные подложки. Подложки располагались в области перезарядного канала (10) и перед закрылками (7). Плотность паров магния в сечении перезарядного канала по вертикали ( $\pm 5$  см) практически не меняется и падает в  $1,5+2$  раза у стенок раструба ( $\pm 6$  см). Распределение по оси канала приведено на рис.3, кривая 1 (отсчет от середины канала). Оценки, сделанные на основании взвешивания магния, напыленного на подложку перед закрылками, показывают, что закрылки отсекают не более половины магния, вылетающего из сопла.

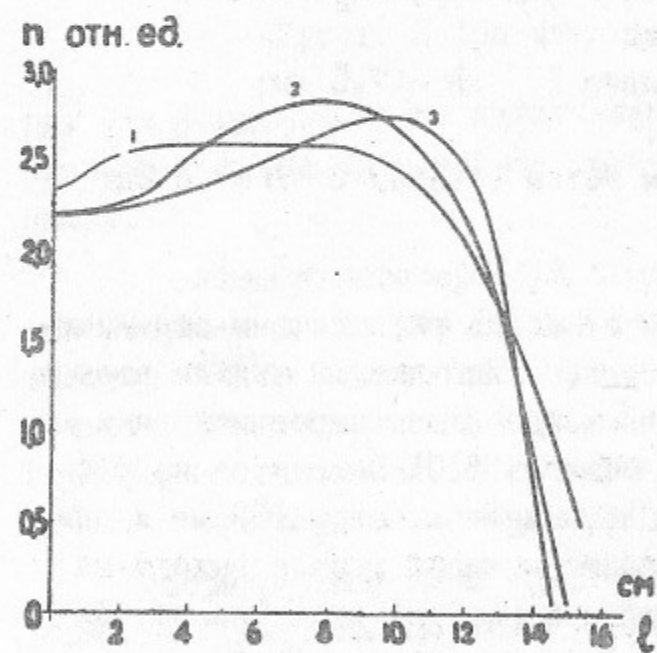


Рис.3. Плотность паров магния на оси перезарядного канала.

6

Плотность паров магния в струе на оси перезарядного канала (10) измерялась с помощью калориметрического датчика и ионизационной манометрической лампы. Калориметрический датчик представлял собой пластинку из нержавеющей стали площадью  $1,5 \text{ см}^2$ , толщиной  $0,1$  мм. Температура пластинки измерялась термопарой. Скорость магниевой струи бралась равной средней тепловой, соответствующей температуре сопла.

Коэффициент прилипания магния брался равным 1. Результаты приведены на рис.3, кривая 2.

Ионизационная лампа была предназначена, в основном, для измерения плотности паров магния на краю струи. Она имела цилиндрическую форму и размеры  $\varnothing 10 \times 12$  мм. В центре канала ее показания были приведены к показаниям калориметрического датчика. Результаты измерений приведены на рис.3, кривая 3. Несмотря на сравнительно большие размеры ионизационной лампы, величина сигнала с нее на границе струи падает на 3 порядка на длине  $2+3$  см. С помощью ионизационной лампы измерялось также подтекание клапана парогенератора в закрытом состоянии. Ионизационный ток с нее в паузе между импульсами приблизительно в  $10^4$  раз меньше тока при открытом клапане. Это является удовлетворительным для работы.

Из данных калориметрических измерений была подсчитана толщина мишени  $\delta = \int n dl$  в зависимости от давления паров магния в бачке (рис.4, кривая 1).

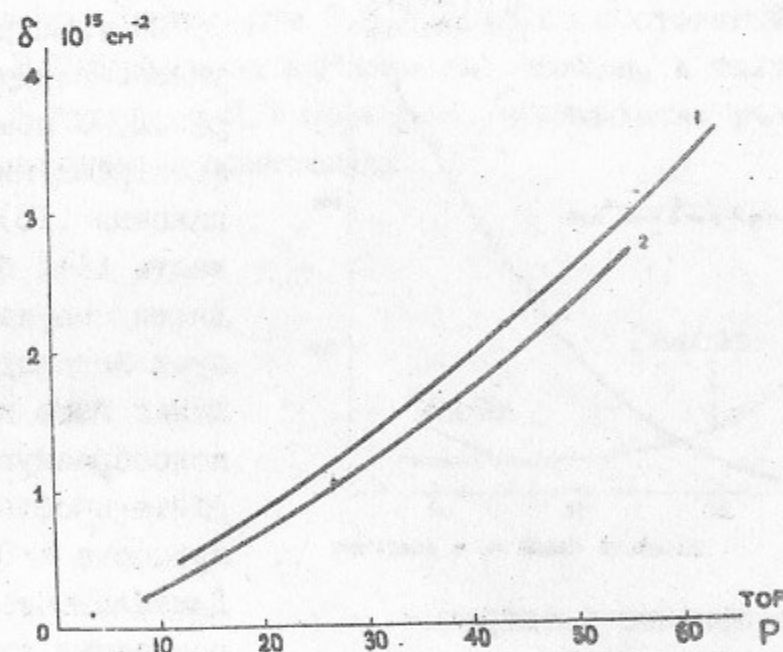


Рис. 4.

Толщина мишени в зависимости от давления паров магния в бачке.

7

При определении толщины мишени вышеупомянутыми методами приходилось делать определенные допущения относительно коэффициента прилипания магния и скорости струи. Более надежным способом, а главное, дающим непосредственную информацию о перезарядных свойствах струи явилось зондирование ее протонным пучком с энергией 10 кэВ. Для этой цели был использован диагностический источник /5/. С помощью сепарирующего магнита  $H^+$  отделялись от  $H^0$  и направлялись в перезарядный канал (рис.1). Перед входом в анализирующий магнит (12) была установлена диафрагма  $\varnothing$  20 мм, препятствующая попаданию пучка на стенки камеры анализатора. Зависимость тока  $H^+$  на коллектор (13) от давления в бачке приведена на рис.5. По этой кривой и известным сечениям перезарядных процессов /6,7/ вычислена толщина мишени (кривая 2 рис.4). Измерялся также выход  $H^-$  - ионов. При толщине мишени  $\sim 4 \cdot 10^{15}$  ат.см<sup>-2</sup> их выход достигал 5±6 % от первоначального пучка  $H^+$ . Таким образом, выход нейтральных атомов водорода при толщине мишени  $(3\pm 4) \cdot 10^{15}$  ат.см<sup>-2</sup> достигает  $\approx 85\%$  от исходного протонного пучка.

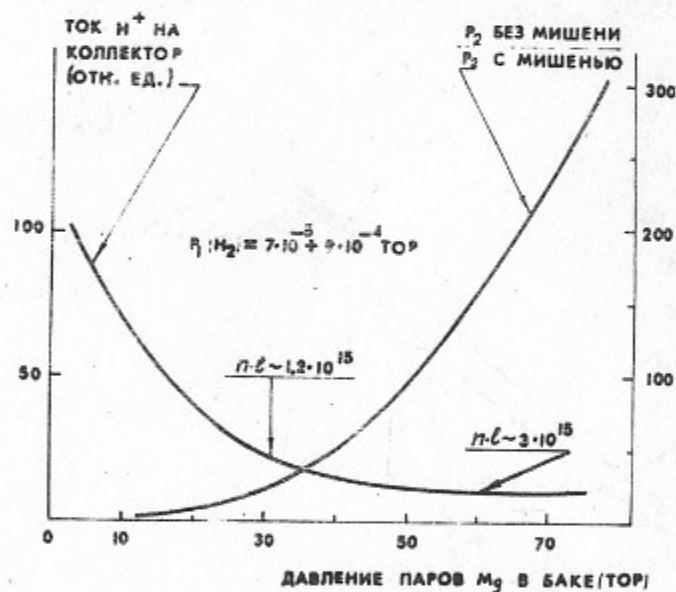


Рис.5. Перезарядные и заградительные свойства перезарядной мишени.

водородный импульс перекрывался импульсом мишени. Обозначим

через  $P_1$  и  $P_2$  амплитуды давлений напускаемого водорода в объемы (14) и (16) соответственно (рис.1) в отсутствие магниевой струи, а через  $P_1^*$  и  $P_2^*$  - амплитуды давлений водорода в тех же объемах для случая, когда они разделены магниевой струей (после включения магниевой струи вакуум в объеме (16) за  $\sim 0,1$  сек улучшается до  $10^{-6}$  тор вследствие откачного действия струи и остается таким до конца импульса. Давление  $P_2^*$  проходящего через струю водорода отсчитывается от этого уровня). Можно считать, что отношение  $P_2/P_2^*$  показывает степень заградительной способности струи. На рис.5 приведена зависимость  $P_2/P_2^*$  от давления паров магния в бачке. При отсутствии струи давление  $P_1 \approx P_2$ ; при наличии струи  $P_1^*$  несколько возрастает вследствие частичного отражения газа от струи. Произведенные оценки показывают, что перепад давлений на струе может достигать  $400 P_2^*$  в диапазоне давлений  $P_1$   $7 \cdot 10^{-5} \div 9 \cdot 10^{-4}$  тор.

Таким образом, видно, что требования к перезарядным и заградительным свойствам парамагниевой струи одновременно удовлетворяются при умеренной ее толщине.

Авторы благодарят Г.И.Димова за постоянный интерес к работе, В.Г.Дудникова за полезные советы, а также Ю.П.Центаловича, Н.А.Кукиль и Н.Ф.Нефедова, принимавших участие в наладке установки и измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.И.Димов. Препринт ИЯФ 77-46 Новосибирск, 1977.
2. М.Ю.Бредихин, А.М.Ильченко, Е.И.Скибенко, В.Б.Юферов. ЖТФ, т.39, вып.11, 2092 (1969).
3. Н.Ф.Вершинин, Б.А.Дьячков, В.И.Зиненко. Письма в ЖТФ, т.5, вып.2, 110 (1979).
4. Г.Н.Абрамович. Прикладная газовая динамика. "Наука 1976" стр.438.
5. Г.И.Димов, В.Г.Росляков, В.Я.Савкин. ПТЭ, № 4, 29 (1977).
6. Schlachter, Proceeding of the Symposium on the Production and Neutralization of the Negative Hydrogen Ions and Beams, 1977 p. 11.
7. A.H.Futch, K.G.Mozer. Abstracts of Papers of the V International Conference of the Physics of Electronic and Atomic Collisions'. Leningrad, 1967, p. 12a

---

Работа поступила - 20 ноября 1980 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов  
Подписано к печати 5 I-1981 г. МН 13679  
Усл. 0,5 печ.л., 0,4 учетно-изд.л.  
Тираж 150 экз. Бесплатно  
Заказ № 3.

---

Отпечатано на ротапинтере ИЯФ СО АН СССР