

C.59

46



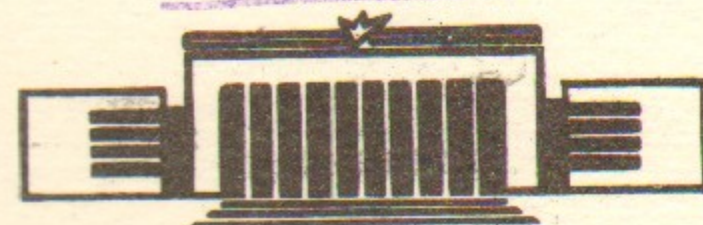
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

В.Г.Соколов, М.В.Таубер, И.Я.Тимошин

ПАРОМАГНИЕВАЯ МИШЕНЬ
УСТАНОВКИ «АМБАЛ»

ПРЕПРИНТ 84-92

БИБЛИОТЕКА
Института ядерной
физики СО АН СССР
ИЯФ



НОВОСИБИРСК

УДК 621.039.6

ПАРОМАГНИЕВАЯ МИШЕНЬ УСТАНОВКИ
"АМБАЛ"

В.Г.Соколов, М.В.Таубер, И.Я.Тимошин

А Н Н О Т А Ц И Я

Описаны конструкция и характеристики перезарядно-заградительной парамагниевого мишени для установки АМБАЛ. При равновесной для перезарядки толщине мишени относительный перепад давлений диффундирующего через нее водорода при работе инжектора достигает 10. Струя откачивает также остаточный газ из области транспортировки инжектируемых пучков. Совместное действие этих факторов обеспечивает давление после струи не выше 10^{-6} Тор, что удовлетворяет условиям работы АМБАЛа.

В плазменной амбиполярной ловушке АМБАЛ ИЯФ СО АН СССР /1/ для нагрева и поддержания плазмы предусмотрена инжекция нейтральных атомов H^0 с энергией 25 кэВ путем перезарядки H^+ на сверхзвуковой парамагниевого струе. Струя должна также выполнять роль импульсного вакуумного затвора, отделяющего инжектор H^+ от установки, так чтобы при работе инжектора давление после струи не превышало $\sim 10^{-6}$ Тор ($1.33 \cdot 10^{-4}$ Па).

Предварительно на макете была изучена структура струи и показана возможность получения достаточных заградительных свойств при равновесной толщине мишени /2/. Полученный опыт был использован при конструировании инжекторного узла ловушки АМБАЛ.

Схема инжекторного блока изображена на Рис.1. В вакуумном баке (1) расположены парогенератор (2), приемник струи (3) и коллимирующие закрылки (4). К этому же баку прифланцовываются стартовый и основной инжекторы H^+ -ионов (5) /1,3/. Откачка блока производится криогенным насосом (6) и магниторазрядными насосами. Охлаждаемая жидким азотом медная рубашка (7) позволяет поддерживать достаточно низкую температуру элементов инжекторного блока. От установки инжекторный блок может быть отделен с помощью шибера (8). Вакуум контролируется ионизационным манометром и поддерживается в пределах $2+4 \cdot 10^{-6}$ Тор. Импульсные давления до и после магниевого струи измеряются манометрическими лампами (9) и (10).

Парогенератор (см.Рис.2.) состоит из бачка для магния (1), закрепленного на фланце (2), клапана (3), формирующего сопла (4) и трех нагревателей (5), окруженных многослойными тепловыми экранами из нержавеющей стали (6). На фланце смонтирован привод клапана, вводы нагревателей и термомпар-индикаторов температуры отдельных элементов парогенератора. Фланец и кожух (7) охлаждаются водой.

Бачок выполнен в виде двух коаксиальных цилиндров из нержавеющей стали. Зазор между ними служит паропроводом. В бачке имеются два патрубка, завариваемых после загрузки магния. В бачок загружается до 5 кг магния.

Клапан парогенератора представляет собой молибденовый стержень диаметром 14 мм, заточенный на конус с углом раствора 90° и притертый по седлу из железа "армко". Седло сварено

с корпусом бачка. Ход клапана 6 мм, проходное отверстие 10 мм. Открывание и закрывание клапана осуществляется с помощью гидравлического привода (8), управляемого газовыми электромагнитными клапанами (9). Гидравлический привод обеспечивает плавное закрывание клапана, что исключает расклепывание седла. Кроме того, сила, уплотняющая клапан, легко регулируется в необходимых пределах изменением давления воздуха. Время открывания клапана не более 0,2 секунды.

Нагреватели позволяют независимо регулировать нагрев бачка, клапана и сопла. Изготовлены они из танталовой проволоки диаметром 1,5 мм, опирающейся на керамические изоляторы. Вводы нагревателей закрыты колпачками, предохраняющими их от запыления магнием. Для регулировки нагрева использованы фазовые тиристорные регуляторы РОСА – стандартизированная разработка ИЯФ. Сигналы обратной связи снимаются с хромель-алюмелевых термопар, связанных с бачком, клапаном и соплом парогенератора. Термопары тщательно защищены от запыления парами магния. Предусмотрены ограничения токов нагревателей на случай их замыкания или перекрытия изоляторов и блокировка включения при отсутствии протока воды, охлаждающей кожух и фланец парогенератора. Рабочая температура бачка $800 \pm 850^\circ\text{C}$, температуры клапана и сопла, во избежание конденсации на них паров магния, поддерживаются на $20 \pm 50^\circ\text{C}$ выше. Суммарная мощность, потребляемая нагревателями ~ 2 кВт, ток до 20 А. Время разогрева парогенератора до рабочей температуры ~ 3 часа. При охлаждении выключается сначала нагреватель бачка, затем, после затвердевания магния (через ~ 3 часа), выключаются остальные нагреватели.

Щелевое сопло с "центральным телом" состоит из двух развернутых относительно друг друга секций. Ширина щелей 0,6 мм, длина каждой секции 120 мм. Такая конструкция позволяет создать достаточную плотность паров магния в зоне инжектируемых пучков без чрезмерного увеличения длины сопла. Для избежания деформации щелей из-за повода при нагревании сопла в нескольких местах в щели вварены перемычки.

Приемник магниевого струи изготовлен из меди, охлаждается жидким азотом и имеет отверстия для прохода инжектируемых пучков (см. Рис. I.). Геометрия приемника обеспечивает контакт струи со стенками на всем протяжении, что препятствует проникновению

газа в обход струи. Увлекаемый парамагневой струей газ откачивается криогенным насосом через жалюзи, имеющиеся в нижней части приемника.

Коллимирующие закрывки изготовлены из нержавеющей стали и привинчены к приемнику магниевого струи, так что их температура поддерживается достаточно низкой и в то же время конденсация паров магния на их заостренных краях затруднена.

С целью уменьшения расхода жидкого гелия и азота щель в кожухе парогенератора закрывается охлаждаемой водой заслонкой (II, Рис. I.), убирающейся на время импульса.

При изучении работы мишени измерялись следующие ее параметры.

1. Распределение плотности паров магния в струе вдоль направления инъекции пучка H^+ . С этой целью на пути струи устанавливалась стеклянная пластинка. Напыленный на нее за несколько импульсов магний взвешивался на аналитических весах. Принимая коэффициент прилипания магния ~ 1 , число Маха в струе ~ 1 получено значение плотности струи $6 \cdot 10^{13}$ ат/см³. За границей приемника плотность падает практически до нуля на расстоянии 3-4 см. Для измерения плотности струи использовался также калориметрический датчик /2/. В центре перезарядного канала по этим измерениям плотность струи магния составляет $\sim 10^{14}$ ат/см³.

2. Подтекание клапана измерялось с помощью ионизационной лампы размером $\varnothing 10 \times 10$ мм, прозрачной для прохождения газа через нее. Сравнивались показания лампы при закрытой и открытой заслонке перед соплом (в первом случае измерялось давление газа в камере, во втором – сумма давления газа и паров магния). Эти измерения показали, что поток магния из-за подтекания клапана составляет не более 10^{-4} потока во время импульса, что вполне удовлетворительно для работы.

3. Изучались заградительные свойства струи. Остаточное давление в камере поддерживалось как правило $3-4 \cdot 10^{-6}$ Тор. Поток газа от инжектора длительностью ~ 1 сек ($\approx 10^{20}$ частиц) имитировался с помощью калиброванного электромагнитного клапана. Измерялись импульсные давления газа до и после струи манометрическими лампами ПМИ-2 (9) и (10) соответственно. Из-за эффективной откачки газа криогенным насосом давление перед струей не поднималось выше 10^{-5} Тор. Давление после струи определяется откачным действием самой струи и диффузией водорода через нее.

Типичные осциллограммы импульсных давлений после струи при закрытом и открытом клапане парамагнетической мишени приведены на Рис.3. Как видим, давление после струи во время импульса газа от инжектора меньше давления остаточного газа в блоке и не превышает более $\sim 10^{-6}$ Тор, что допустимо для работы АМБАЛа. Перепад давлений диффундирующего водорода равен $8 + 10$. Сравнительно небольшая величина перепада объясняется, во-первых, тем, что давление перед струей уже достаточно мало. Во-вторых, перетекание газа в обход струи, в зазоре между корпусом инжекторного блока и охлаждаемой азотом рубашкой оказалось больше ожидаемого. Это подтверждается тем, что импульсное давление газа выше закрылок приблизительно равно давлению перед струей.

4. Перезарядные свойства струи изучались с помощью пучка H^+ от инжектора "Старт" /3/. При токе пучка H^+ 30 А, длительности 200 мксек и энергии 15 кэВ выход H^0 составлял 83%, что соответствует равновесному значению при такой энергии H^+ -ионов.

В заключение считаем приятным долгом поблагодарить Г.И.Димова за постоянное внимание к работе, Ю.С.Попова, обеспечившего работу криогенного насоса, Г.В.Рослякова, предоставившего для работы инжектор H^+ и проводившего измерения по перезарядке H^+ , а также Н.А.Кукиль за сборку и наладку установки.

Л и т е р а т у р а

1. Г.И.Димов, Г.В.Росляков. Препринт ИЯФ СО АН СССР № 80-152, 1980.
2. В.Г.Соколов, И.Я.Тимошин. ЖТФ 52, 2, 283 (1982).
3. В.И.Давыденко, Г.В.Росляков, В.Я.Савкин. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез, 1983, вып. 2(12).

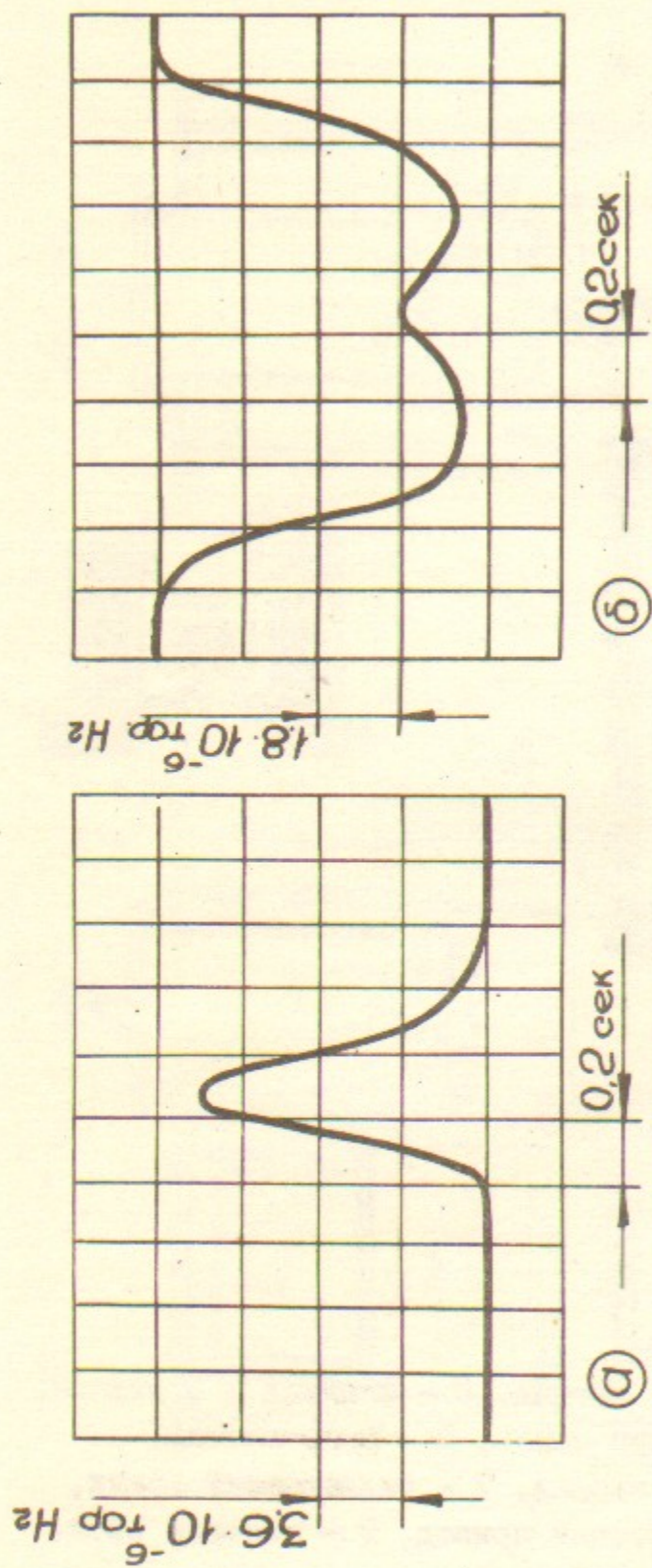


Рис.3. Осциллограммы импульсных давлений водорода после магниевой струи.

- а) магниевая струя не включена. Давление близко к давлению перед струей при ее включении;
- б) магниевая струя включена.

В.Г.Соколов, М.В.Таубер, И.Я.Тимошин

ПАРОМАГНИЕВАЯ МИШЕНЬ УСТАНОВКИ
"АМБАЛ"

Препринт
№ 84-92

Работа поступила - II июня 1984 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов
Подписано к печати 27.6-1984 г. МН 04397
Формат бумаги 60x90 I/16 Усл.0,9 печ.л., 0,8 учетно-изд.л.
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 92.

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90