

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P13-88-554

А.П.Архипов*, В.М.Быстрицкий, В.Б.Грановский*,
В.П.Джелезов, В.Г.Зинов, В.А.Купц*, Д.Г.Меркулов,
В.А.Столупин, Хан Дон Ир

МИШЕНЬ ДЛЯ РАБОТЫ
С ТЯЖЕЛЫМИ ИЗОТОПАМИ ВОДОРОДА
ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 1000 АТ
И ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 1050 К

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

*Институт геохимии и физики минералов АН УССР,
Киев

В настоящее время возрос интерес к исследованию явления муонного катализа ядерных реакций синтеза дейтерия и трития при высоких давлениях и температурах ^{1/1}. Для успешного проведения таких исследований перед нами возникла задача создания мишеней, обладающих высокой прочностью и малой проницаемостью по отношению к изотопам водорода при температурах до 1050 К и давлениях до 1000 ат. Основная трудность, возникающая при создании таких мишеней, связана с так называемой водородной коррозией материала стенок мишени, приводящей к потере их механической прочности. В связи с этим до начала разработки конструкции мишени мы выполнили цикл экспериментов ^{1/2-4} по исследованию взаимодействия водорода (дейтерия) с различными материалами с целью:

а) выбора жаропрочного сплава, обладающего высокими прочностными характеристиками при высоких давлениях и температурах в сочетании с достаточной пластичностью;

б) выбора "защитных" покрытий материалов и технологии их нанесения для существенного уменьшения проникновения изотопов водорода через стенки мишени.

В результате этих исследований нами был выбран в качестве материала корпуса мишени жаропрочный сплав ЗИ 698 ^{1/2}. Однако при высоких температурах ~ 1050 К и давлениях ~ 1000 ат проницаемость сплава ЗИ 698 по отношению к изотопам водорода становится недопустимо большой, что практически исключает возможность проведения экспериментов в течение длительного времени с ограниченным количеством газа в мишени. Поэтому для уменьшения потока водорода (дейтерия, трития) через стенку мишени необходимо применить "защитный" сплав ЗИ 698 от непосредственного контакта с водородом в виде оболочки из такого материала, для которого проникновение изотопов водорода существенно меньше, чем для ЗИ 698. В работе ^{1/3} нами показано, что проникновение водорода через стенку мишени, состоящую из ЗИ 698 + Au (толщиной 0,2 мм) при $T = 1050$ К и $P = 1000$ ат в ~ 5 раз меньше соответствующей величины для сплава ЗИ 698, а применение алитирования внутренней поверхности мишени ^{1/4} приводит к уменьшению потока водорода \sim в 30 раз. Таким образом, производя алитирование поверхности мишени и используя оболочку из золота (сферообразная мишень - осциллятор),

можно существенно уменьшить проникновение изотопов водорода через стенку мишени. Идея использования многослойных "защитных" покрытий легла в основу разработанной и созданной нами мишени, предназначенной для работы с тяжелыми изотопами водорода при давлениях до 1000 ат и температурах до 1050 К. Ниже приводится описание созданной установки, включающей в себя мишень, вентиль высокого давления, емкостный датчик давления и систему термостатирования мишени.

Газовая мишень

На рис. 1 приведен чертеж мишени, корпус которой изготовлен из сплава ЭИ 698 ($Ni - C_2 - Mo$, сплав ХН73МВТЮ). Расчет на прочность корпуса мишени производился по формуле ^{15/}:

$$\rho = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2^2}, \quad (1)$$

где σ_s - длительная прочность сплава при $T = 1050$ К в течение 1000 ч работы в инертной среде (30 кгс/мм²); r_1 и r_2 - внутренний и наружный радиусы мишени.

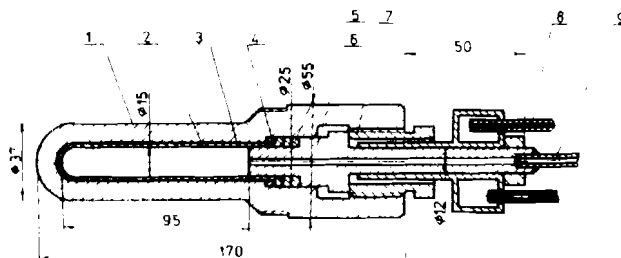


Рис. 1. Чертеж мишени.

1 - корпус мишени, 2 - вкладыш из ЭИ 4371, 3 - ампула из золота, 4, 5 - медные уплотнители, 6 - обтюратор, 7 - нажимная гайка, 8 - радиатор, 9 - капилляр из ЭИ 702.

Согласно условиям эксперимента по исследованию мюонного катализа ядерных реакций снгома в амоси (D_2, T_2) рабочий объем мишени должен составлять 15 см³, а внутренний радиус ее - 18 мм. При таких параметрах мишени для работы ее в режиме упругих деформаций в диапазо-

не давлений до 1350 ат необходимо, чтобы наружный диаметр мишени составлял $r_2 = 38$ мм.

Корпус мишени представляет собой толстостенный цилиндр I из сплава ЭИ 698, в который помещен вкладыш 2 из того же материала. Вкладыш 2 вставлен внутрь ампулы из золота 3 с толщиной стенки $0,4$ мм. Уплотнение между оболочкой из золота и корпусом I, а также между вкладышем 2 и корпусом I осуществляется с помощью медных прокладок 4 и 5. Прокладки 4 и 5 через обтюратор 6 поджимаются гайкой 7.

Детали 1, 2, 6 предварительно были термически обработаны по следующей схеме ^{14/}. Производилась их выдержка в течение 8 ч при $T = (1400 \pm 10)$ К, после чего температура понижалась до 1270 К, и при такой температуре они выдерживались в течение 4 часов. По окончании этой процедуры проводилось алитирование, а затем эти детали подвергались старению при $T = 1020$ К в течение 16 часов с последующим охлаждением на воздухе. Для уменьшения проникновения водорода (дейтерия) через обтюратор 6 производится его охлаждение с помощью радиатора 8.

Подсоединению мишени к вентилю высокого давления с гидравлическим приводом ^{16/} осуществляется с помощью капилляра 9 с наружным диаметром 6 мм и толщиной стенки 2 мм, изготовленного из сплава ЭИ 702. Рабочий объем мишени составляет 15 см³.

Емкостный датчик давления

Вопрос измерения давления газа, находящегося в мишени в малых количествах ($V_M = 15$ см³) и обладающего высокой степенью чистоты ($\sim 10^{-7}$ об. долей) по примесям (N_2, O_2, CO_2 и т.д.), является весьма delicateм. Это связано с тем, что применение для измерения давления наиболее распространенных приборов - манометров с трубчатой пружиной - нецелесообразно, т.к. их внутренний объем составляет $\sim 15 \pm 20$ см³, а кроме того, появится возможность загрязнения содержимого мишени из-за наличия специального индикатора (обычно применяется различное масло) в трубке манометра. Для устранения загрязнения газа можно, в принципе, использовать мембранный разделитель, отсекающий трубку манометра от объема мишени. Однако создать разделитель с внутренним объемом, существенно меньшим, чем объем мишени, крайне затруднительно. В связи с этим в качестве прибора, измеряющего давление газа, мы решили использовать емкостный датчик. Принцип работы датчика основан на изменении емкости при изменении зазора между пластинами конденсатора.

Конструкция разработанного и созданного нами датчика приводится на рис. 2. Одна пластина конденсатора укреплена на днище сосуда высокого давления 1, а другая пластина на фланце 6. Фланец 6 жестко

скреплен с корпусом I четырьмя шпильками 5. Если давление газа внутри цилиндра равно P , то на его днище действует сила $F = \pi z_2^2 P$, вызывающая удлинение сосуда

$$l_p = l_0 \left(1 + \frac{1}{E} \frac{z_2^2}{z_2^2 - z_1^2} P \right), \quad (2)$$

где z_1, z_2 - внутренний и наружный радиусы цилиндра, l_0 - длина внутренней полости цилиндра, E - модуль Юнга.

Удлинение цилиндра приводит к изменению зазора d между пластинами конденсатора на величину $d - \frac{l_0}{E} \frac{z_2^2}{z_2^2 - z_1^2} P$, а следовательно, и к изменению емкости конденсатора на величину

$$\Delta C = 0,88 \frac{S}{d - \frac{l_0}{E} \frac{z_2^2}{z_2^2 - z_1^2} P}, \quad (3)$$

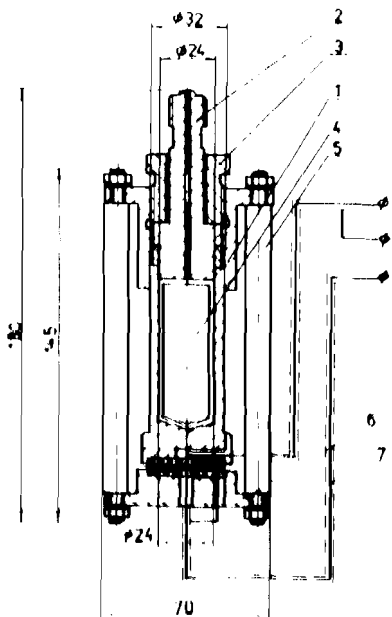
где S - площадь пластины конденсатора, d - расстояние между пластинами.

При начальном зазоре, равном 0,07 мм, изменение давления на 1 ат приводит к изменению емкости на 0,05 пФ. Измерение емкости производилось цифровым мостом Р 5016 (точность измерения составляет 0,01% при $C = 100$ пФ). Для того чтобы исключить влияние теплового расширения на величину зазора между

обкладками конденсатора, все детали датчика изготовлены из одного и того же сплава ЭИ 437Б. Повторяемость показаний датчика в диапазоне давлений до 1000 ат возможна лишь при условии работы корпуса сосуда в пределах упругих деформаций. При vibrных размерах $z_1 = 24$ мм и $z_2 = 32$ мм максимальное давление, при котором сосуд еще работает в упругом режиме (согласно (1)), равно 1500 ат. Для уменьшения "паразит-

Рис. 2. Емкостный датчик.

- 1 - корпус датчика из ЭИ 437Б,
- 2 - обтуратор, 3 - нажимная гайка,
- 4 - металлический вкладыш,
- 5 - шпильки, 6 - фланец, 7 - крепежные гайки.



ного" объема датчика внутрь его помещен металлический вкладыш 4 с зазором менее 0,1 мм. Это позволило уменьшить объем датчика до 0,5 см³.

Калибровка датчика производилась с помощью образцового манометра. На рис. 3 приведена зависимость емкости датчика от давления газа. Общий вид установки изображен на рис. 4. Мишень I и датчик давления 3 подсоединены к вентилю высокого давления 2, выполняющему одновременно роль несущего элемента. Нагрев мишени осуществляется с помощью электрического нагревателя 6. Для теплоизоляции мишени вокруг нее расположены экраны 5, 7 из листовой нержавеющей стали и полированной меди.

В целях радиационной безопасности вся установка помещена внутрь объема, ограниченного вакуумным кожухом 4.

На данной установке нами были проведены имитационные опыты с дейтерием.

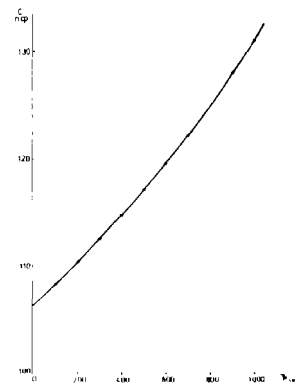


Рис. 3. Зависимость емкости датчика от давления газа.

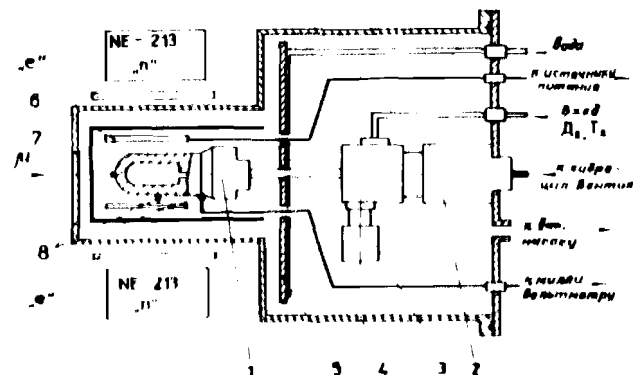


Рис. 4. Общий вид установки.

1 - мишень, 2 - вентиль высокого давления с гидравлическим приводом, 3 - емкостный датчик давления, 4 - вакуумный кожух, 5 - тепловой экран, охлаждаемый водой, 6 - электрический нагреватель, 7 - теплового экраны, 8 - мишень, "E" - детекторы альфа-частиц, "N" - детекторы нейтронов.

Результаты этих экспериментов свидетельствуют о том, что поток дейтерия через многослойную стенку мишени при $T = 1050$ К и давлении $P = 1000$ ат более чем в 10^2 раз меньше потока дейтерия через стенку мишени, изготовленной из сплава ЭИ 698.

В заключение следует отметить, что созданная мишень позволяет в течение длительных экспозиций на пучке мюонов проводить исследования мо-катализа реакций ядерного синтеза изотопов водорода при давлениях до 1000 ат и температурах до 1050 К.

Авторы выражают благодарность Вошедченко Б.М., Князеву Е.В., Мелешко Е.В. за стимулирующие дискуссии и за большой объем работ по нанесению "защитных" покрытий, Мальнику Ю.П. за постоянный интерес к работе, Шамсутдинову Ш.Г., Соковнину И.С., Кулагину Б.М. за сборку установки и помощь при проведении измерений.

Литература

1. Быстрицкий В.М. и др. - ЖЭТФ, 1981, 80, с. 1700.
Breunlich W.H. et al. Muon Catalyzed Fusion, eds. Gononarev L.I. and Petitjean C. (J.C. Wiltzer AG), 1987, v. 1, p. 121.
Jones J.E. et al. Muon Catalyzed Fusion, eds. Gononarev L.I. and Petitjean C. (J.C. Wiltzer AG), 1987, v. 1, p. 21.
2. Быстрицкий В.М. и др. ОИЯИ, Р13-86-161, Дубна, 1986.
3. Быстрицкий В.М. и др. ОИЯИ, Р13-86-162, Дубна, 1986.
4. Быстрицкий В.М. и др. ОИЯИ, Р13-88-358, Дубна, 1988.
5. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. "Металлургия", М., 1969.
6. Быстрицкий В.М. и др. ОИЯИ, Р13-87-704, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в редакционный отдел
27 июля 1988 года.

Архипов А.П. и др. Р13-88-554
Мишень для работы с тяжелыми изотопами
водорода при давлениях до 1000 ат
и температурах до 1050 К

Приводится конструкция мишени, предназначенной для исследования мюонного катализа ядерных реакций синтеза в смеси $D_2 + T_2$ при давлениях до 1000 ат и температурах до 1050 К. Применение многослойных "защитных" покрытий жаропрочного сплава ЭИ 698 позволило уменьшить поток дейтерия через стенку мишени при $T = 1050$ К и $P = 1000$ ат более чем в 100 раз.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Arkhipov A.P. et al. Р13-88-554
Target for Operation with Hydrogen Heavy
Isotopes at Pressures up to 1000 ат and
Temperatures up to 1050 К

A target designed for the study of the muon catalyzed fusion in the mixture $(D_2 + T_2)$ at pressures up to 1000 ат and at temperatures up to 1050 К is described. The multilayer "protective" coating of the heat-resisting alloy EI 698 allowed the deuterium flux through the target wall to be reduced by a factor of more 10^2 at $T = 1050$ К and $P = 1000$ ат.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988