

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б955

13-87-704

В.М.Быстрицкий, В.Б.Грановский*, В.П.Джелепов,
В.Г.Зинов, В.А.Куц*, В.А.Столупин, В.А.Уткин,
А.Н.Чибисов*

МИШЕНЬ ДЛЯ РАБОТЫ
С ИЗОТОПАМИ ВОДОРОДА
ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 1500 АТ
В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР
ОТ 20,4 ДО 300 К

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

*Институт геохимии и физики минералов АН УССР, Киев

1987

Для исследования мезоатомных и мезомолекулярных процессов, происходящих в смеси изотопов водорода при высоких давлениях и в широком диапазоне температур, требуется высокая чистота изотопов водорода. В связи с этим нами разработана и создана установка, в которой получение высоких давлений $P \leq 1500$ ат в диапазоне температур $20,4 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$ осуществляется криогенным методом путем ожижения газообразных изотопов водорода в объеме мишени с последующим ее нагревом. Такой способ получения высоких давлений гарантирует сохранение высокой чистоты изотопов водорода /суммарное содержание примесей не превышает $10^{-5}\%$ /. Предварительная очистка водорода /дейтерия/ производится с использованием цеолитовых адсорберов^{/1/}.

Установка состоит из мишени, вентиля высокого давления и криостата. Каждый из перечисленных узлов должен обладать высокой надежностью и герметичностью, а также простотой при эксплуатации их на пучке мюонов. В настоящей работе приводится описание узлов установки.

ГАЗОВАЯ МИШЕНЬ

Схематический чертеж мишени приведен на рис.1. Мишень высокого давления представляет собой толстостенный цилиндр 2, изготовленный из сплава ЭИ 437Б. Расчет на прочность производился по формуле^{/2/}

$$P = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2^2},$$

где σ_s - длительная прочность сплава при $T = 300 \text{ K}$ и $t=1000$ ч работы в инертной среде /6000 кгс·см⁻²/; r_1 , r_2 - внутренний и наружный радиусы мишени. Уплотнение обтюратора 1 с корпусом мишени 2 осуществляется с помощью медных прокладок 5, 7, нажимных колец 4, 6, изготовленных из сплава ЭИ 437Б, и поджимной гайки 3. Обтюратор представляет собой затвор некомпенсированного типа с коэффициентом некомпенсации 1,2. Перед сборкой мишени была проведена термообработка деталей 1, 2, 4, 6 по следующей схеме: нагрев при $T = 1350 \pm 10 / \text{K}$ в течение 8 ч

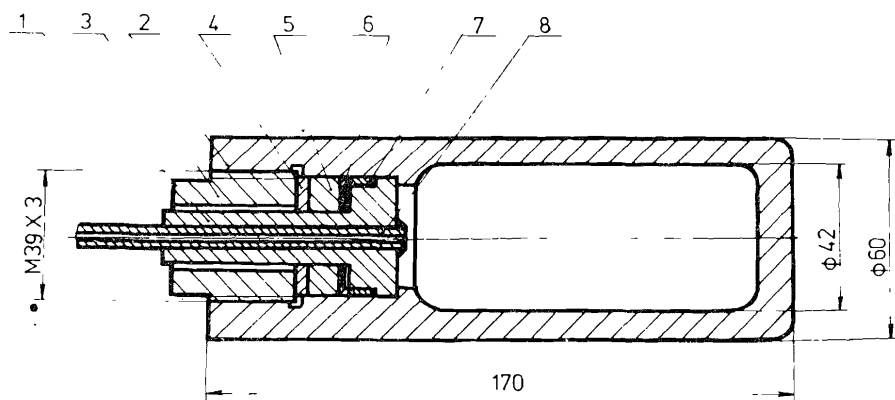


Рис.1. Схема мишени: 1 - обтюратор, 2 - корпус мишени, 3 - поджимная гайка, 4, 6 - нажимные кольца, 5, 7 - медные прокладки, 8 - капилляр.

с последующим старением при 1020 К в течение 40 ч. Подсоединение мишени к вентилю высокого давления осуществляется с помощью капилляра 8 наружным диаметром 6 мм и толщиной стенки 2 мм, изготовленного из сплава ЭИ 702. Объем мишени составляет 120 см³.

ВЕНТИЛЬ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Вентиль высокого давления должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Герметичное закрытие мишени для длительного ее экспонирования на пучке мюонов.

2. Отсутствие возможных утечек в процессе перезаполнения мишени высокого давления.

3. Малые размеры и небольшой внутренний объем.

До настоящего времени в литературе описано большое количество конструкций вентиляей^{3/}, однако каждый из них полностью не удовлетворяет вышеописанным требованиям. Некоторые из них не имеют дистанционного управления, другие недостаточно надежны в работе из-за постепенного раздавливания запирающей поверхности. Вследствие этого увеличивается площадь соприкосновения иглы с седлом, и для закрытия вентиля приходится прилагать все большие усилия. Поэтому в результате эксплуатации наступает момент, когда необходимо торцевать седло вентиля, ибо невозможно создать усилия, обеспечивающие герметичность соединения.

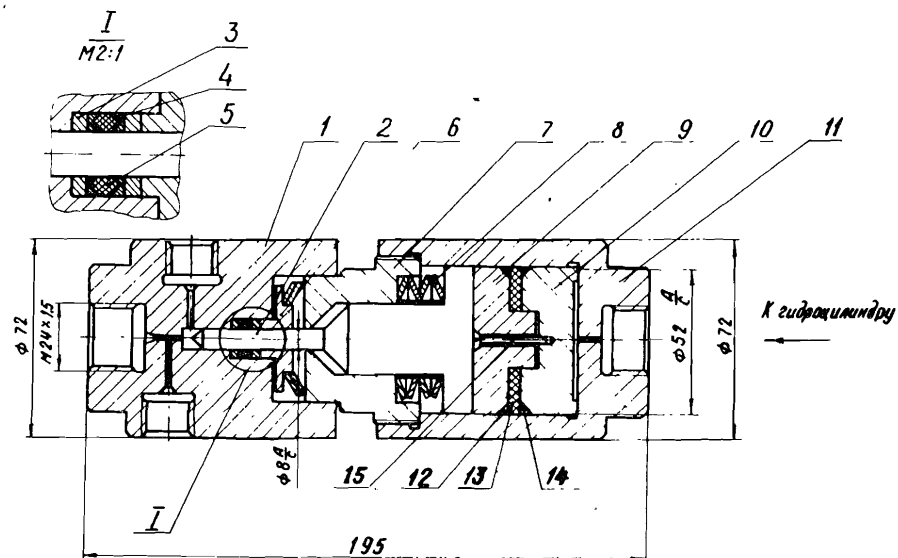


Рис.2. Принципиальная схема вентиля высокого давления: 1 - корпус вентиля, 2 - игла, 3 - стальное кольцо, 4 - кольцо латунное, 5 - фторопласт, 6 - грунд-букса, 7 - соединительная гайка, 8 - тарельчатые пружины, 9, 10 - поршень, 11 - корпус гидроцилиндра, 12, 13, 14 - система уплотнений поршня, 15 - винт поджимной.

В связи с этим нами разработана и создана конструкция вентиля, удовлетворяющая вышеперечисленным требованиям. Чертеж вентиля приведен на рис.2. Вентиль состоит из корпуса 1, запорной иглы 2, соединительной гайки 7, поджимающей через тарельчатые пружины и грунд-буксу 6 набор сальниковых уплотнений 3÷5. Тарельчатые пружины 8 осуществляют возврат иглы в нормальное положение при снятии давления масла в гидроцилиндре и одновременно создают предварительное поджатие уплотнений 12÷14 поршня гидроцилиндра. Тарельчатые пружины и грунд-букса 6 выполняют роль "автоподжатия" уплотнения иглы 2, если произойдет незначительное вытекание фторопласта в процессе эксплуатации.

Применение гидроцилиндра позволяет создать большое усилие на запирающую иглу 2, что, в свою очередь, гарантирует герметичность в месте контакта иглы и седла. Кроме того, использование гидроцилиндра позволяет данный вентиль сделать дистанционно-управляемым. Благодаря укорочению неподдержанной части иглы 2 и относительно большому ее диаметру /8 мм/ в сравнении с другими конструкциями^{4,5/}, нам удалось существенно

повысить надежность работы вентиля. Давление масла в гидроцилиндре для рабочего давления в сосуде 10 кбар составляет 350 ат. В случае, если необходима тонкая регулировка высокого давления газа в сосуде, используется вентиль тонкой регулировки расхода масла [6]. Корпус вентиля 1 выполнен из стали 45ХМНФА, закаленной до $H_{RC} = 42 \div 44$, а запирающая игла 2 изготовлена из стали ШХ-15, закаленной до твердости $H_{RC} = 58 \div 60$. Поверхность иглы 2 обработана по 10 классу шероховатости. Цилиндр 11 и соединительная гайка 7 изготовлены из стали 35ХГСА, закаленной до $H_{RC} = 36 \div 38$ и $H_{RC} = 42 \div 44$ соответственно.

• Способ уплотнения штока иглы 2 приведен на рис.2 /позиция 1/.

Конструкция вентиля отличается простотой, технологичностью изготовления. Для работы при более высоких давлениях необходимо выполнить корпус вентиля в виде двухслойного цилиндра, изготовленного с предварительным натягом, что, в свою очередь, повлечет за собой увеличение наружных размеров вентиля.

Нами были проведены испытания данного вентиля с водородом и гелием при давлениях 2 и 10 кбар соответственно.

Герметичность вентиля проверялась с помощью течеискателя ПТИ-7А на шкале максимальной чувствительности. Испытания проводились в течение 300 ч, при этом как в закрытом состоянии вентиля, так и в процессе перезаполнения сосуда утечек газа обнаружено не было.

КРИОСТАТ

Охлаждение и термостатирование мишени осуществляется с помощью криостата, схематический чертеж которого приведен на рис.3. Криостат состоит из вакуумного кожуха /ВК/, водородного бачка /ВБ/ и сосуда /С/, стенки которого охлаждаются жидким водородом или азотом. Узлы криостата изготовлены из нержавеющей стали с толщиной стенок 1,5 мм. Для уменьшения теплопритока наружные поверхности ВБ и С защищены тепловым экраном /ТЭ/, состоящим из нескольких слоев металлизированного лавсана. Объем ВБ равен 20 литрам. Количество жидкого водорода /азота/ в ВБ определяется по показаниям конденсационного указателя уровня /КУУ/. Мишень /М/ расположена внутри сосуда С, который для увеличения эффективности теплообмена может заполняться газообразным гелием. Чистый водород /дейтерий/ поступает в мишень через вентиль высокого давления /ВВД/ по капилляру, проходящему через крышку криостата /К/. Давление газа в мишени контролируется по показаниям манометра высокого давления /МВД/, трубка которого для уменьшения паразитного объема заполнена маслом. Изоляция ее от объема мишени осуществляется с помощью

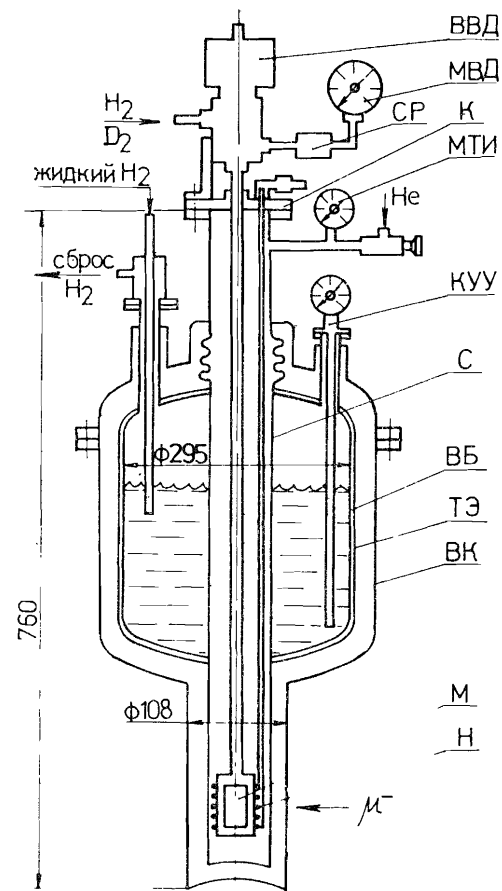


Рис.3. Схема криостата: ВК – вакуумный кожух, ВБ – водородный бачок, ТЭ – тепловой экран, С – гелиевый сосуд, М – мишень, КУУ – конденсационный указатель уровня водорода /азота/, Н – нагреватель, МВД – манометр высокого давления, ВВД – вентиль высокого давления, МТИ – манометр точных измерений.

сильфонного разделителя /СР/. На корпусе мишени укреплен электрический нагреватель Н.

При работе с мишенью в диапазоне температур $20,4 \div 77$ К в качестве хладагента использовался жидкий водород, а в диапазоне $77 \div 300$ К – жидкий азот. Необходимая температура мишени во всем диапазоне достигается путем вариации давления гелия в сосуде С и мощности нагревателя Н. Температура мишени измеряется

с помощью термопар /медь-константан/, установленных на поверхности мишени. Точность поддержания температуры не превышает 1 К.

Криостат с мишенью устанавливается на мюонном пучке, поэтому для увеличения телесного угла детекторов, регистрирующих продукты ядерных реакций, наружный диаметр вакуумного кожуха /ВК/ в области облучения мишени мезонами уменьшен до требуемого размера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданная установка, включающая в себя мишень, запорный вентиль и криостат, позволяет с высокой надежностью эксплуатировать ее в течение длительного времени на пучке мюонов.

Авторы выражают благодарность Ю.П.Мельнику за постоянный интерес к работе, Ш.Г.Шамсутдинову, Б.М.Кулагину, И.С.Соковнину за изготовление, сборку установки и помощь при проведении измерений, Д.Г.Меркулову, Хан Дон Ир за участие в измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быстрицкий В.М. и др. - ПТЭ, 1984, № 4, с.46.
2. Ильюшин А.А., Огибалов П.М. Упругопластическая деформация полых цилиндров. М.: МГУ, 1960.
3. Циклис Д.С. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях. М.: Химия, 1976.
4. Митирев П.А., Чернышев В.М. - ПТЭ, 1977, № 1, с.247.
5. Миринский Д.С., Шурин Я.И. - ПТЭ, 1972, № 2, с.192.
6. Шаховский Г.П. - ПТЭ, 1966, № 1, с.218.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 сентября 1987 года.

Быстрицкий В.М. и др.

13-87-704

Мишень для работы с изотопами водорода при давлениях до 1500 ат в диапазоне температур от 20,4 до 300 К

Для исследования мезоатомных и мезомолекулярных процессов, происходящих в смеси изотопов водорода, разработана и создана установка, включающая в себя газовую мишень, вентиль высокого давления и криостат. Установка позволяет работать с изотопами водорода высокой чистоты /суммарное содержание примесей не превышает $10^{-5}\%$ при давлении до 1500 ат и в диапазоне температур от 20,4 до 300 К.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод М.И.Потапова

Bystritskij V.M. et al.

13-87-704

A Target for Work with Hydrogen Isotopes at Pressures up to 1500 atm in the Temperature Range from 20.4 to 300 K

To investigate mesoatomic and mesomolecular processes in mixture of hydrogen isotopes, a facility consisting of a gas target, a high pressure valve and a cryostat has been designed and made. The facility allows working with highly pure hydrogen isotopes (total amount of impurities does not exceed 10^{-1} ppm) at pressures up to 1500 atm in the temperature range from 20.4 to 300 K.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987