

СЗ935

Б-823

14/V-73

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



8 - 6958

1718/2-73

Ю.Т.Борзунов, Л.Б.Голованов,
В.Л.Мазарский, А.П.Цвинев

УСТАНОВКА С 3-МЕТРОВОЙ

ЖИДКОДЕЙТЕРИЕВОЙ МИШЕНЬЮ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

8 - 6958

**Ю.Т.Борзунов, Л.Б.Голованов,
В.Л.Мазарский, А.П.Цвинев**

**УСТАНОВКА С 3-МЕТРОВОЙ
ЖИДКОДЕЙТЕРИЕВОЙ МИШЕНЬЮ**

Направлено в ПТЭ

**Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА**

Введение

Для исследования регенерации K^0 -мезонов на дейтронах ¹¹ создан экспериментальный комплекс, частью которого является установка с жидкодейтериевой мишенью. Установка состоит из мишени с системой конденсации дейтерия жидким водородом, блока компрессии с системой осушки и очистки дейтерия от примесей и системы эвакуации дейтерия из мишени при аварийных ситуациях.

Описание элементов установки

Жидкодейтериевая мишень состоит из следующих основных частей: рабочего и охранного сосудов, азотного экрана с теплоизоляцией и вакуумного кожуха. Рабочий сосуд имеет диаметр 120 мм, длину 3 м. Его цилиндрическая часть изготовлена из нержавеющей стали толщиной 1 мм, а торцы из 190-микронной лавсановой пленки. Рабочий сосуд, заполняемый жидким дейтерием, имеет объем 36 литров. Средняя его часть находится внутри другого сосуда, имеющего диаметр 240 мм и длину 2,5 м. Последний заполняется жидким водородом, с помощью которого происходит конденсация дейтерия в рабочем сосуде и поддержание его в жидком состоянии во время работы установки.

Для уменьшения расхода жидкого водорода во время конденсации дейтерия газообразный дейтерий предварительно охлаждается парами испарившегося водорода, а затем конденсируется. Охлаждение газообразного дейтерия происходит в теплообменнике, расположенном вокруг рабочего сосуда. Длина трубок теплообменника 30 м, диаметр 8 мм. Для уменьшения теплопритока к внутренним сосудам вокруг них расположен азотный экран с системой теплоизоляции.

Все перечисленные элементы мишени находятся внутри разборного вакуумного кожуха, на торцах которого имеются лавсановые окна, защищенные от механических повреждений.

Конструкция азотного экрана, вакуумного кожуха, системы подвески, крепления лавсановых окон и системы теплоизоляции подобна конструкции аналогичных элементов в 3-метровой жидководородной мишени /2/.

Блок компрессии дейтерия состоит из мембранного компрессора МК 4,5/200, необходимого для закачки дейтерия после окончания работы мишени, восьми баллонов емкостью 40 л каждый, в которые закачивается дейтерий до давления 150 атм, блоков сушки и очистки, позволяющих производить очистку дейтерия от примесей, а также вакуумного насоса и газового пульта. Все оборудование блока компрессии размещено на ферме размером 2x2,5 м², легко транспортируемой к месту эксперимента.

Система эвакуации дейтерия включает емкости для аварийного сброса дейтерия и коммуникации, соединяющие емкости с мишенью и с блоком компрессии. Обеспечению герметичности этих систем уделялось большое внимание. Мишень, компрессор, емкости и коммуникации были тщательно испытаны гелиевым течеискателем, потери дейтерия были сведены к минимуму. При аварийных ситуациях, которые могут возникать при порче вакуума в мишени или разрыве лавсанового окна, дейтерий эвакуируется в емкости аварийного сброса /см. рис. 1/.

К емкостям предъявлялись следующие требования. Во-первых, материал, из которого они изготовлены, должен выдерживать резкое охлаждение и не ухудшать своих свойств при низких температурах /газообразный дейтерий, сбрасываемый в эти емкости, имеет температуру около 80° К/. Во-вторых, емкости аварийного сброса должны выдерживать наружное давление при откачке "на вакуум" /сброс дейтерия происходит в пустые емкости, давление в которых не более нескольких мм рт.ст./.

И, в-третьих, суммарный объем емкостей должен быть таким, чтобы давление при заполнении их всем дейтерием, имеющимся в установке /при $T = 293^{\circ} \text{K}$ /, не превышало допустимого давления в рабочем сосуде мишени.

Этим требованиям удовлетворяли азотные танки ТРЖК-3 емкостью 7380 литров. Два таких танка и были использованы для сброса дейтерия в аварийных ситуациях.

Работа установки

Для заполнения мишени газообразный дейтерий из баллонов редуцируется и поступает в рабочий сосуд, где конденсируется

водородом, находящимся в охранном сосуде мишени. Как показывают расчеты, предварительное охлаждение дейтерия в теплообменнике испаряющимся водородом более чем в два раза сокращает расход жидкого водорода, хотя несколько увеличивает время конденсации дейтерия. В установке на охлаждение и конденсацию 36 литров дейтерия требуется около 100 литров жидкого водорода. Процесс конденсации занимает 8 часов. Найдено, что режим конденсации дейтерия целесообразно вести при давлении водорода в охранном сосуде 0,2 атм. После окончания конденсации рабочий сосуд закрывается и дейтерий находится в равновесном состоянии с жидким водородом охранного сосуда, который соединен с атмосферой. Давление дейтерия в рабочем сосуде может колебаться от 240 до 270 мм рт.ст. в зависимости от барометрического давления. Соответствие давлений дейтерия и водорода в сосудах хорошо согласуется с данными, приведенными на рис. 2 /3/. Для поддержания постоянной плотности дейтерия в рабочем сосуде мишени необходимо постоянное давление над кипящим водородом в охранном сосуде. Это давление принимается равным 780 мм рт.ст., а поддерживать его постоянным можно с помощью стабилизатора давления /4/.

Закачка дейтерия в баллоны производится компрессором после удаления водорода из охранного сосуда. Жидкий дейтерий выдавливается в змеевик, где испаряется, подогревается окружающим воздухом и поступает на всасывание в компрессор. Опыт работы показал, что давление на входе в компрессор может быть повышено до 0,3 атм. Время закачки дейтерия в баллоны 6 часов. Оно может быть сокращено до 2 часов, если использовать компрессор большей производительности, например, МК-20/200.

Предохранительные устройства мишени

Безопасность при работе мишени обеспечивается предохранительными устройствами: на рабочем и охранном сосудах - мембранами, на вакуумном кожухе - клапаном. Выбор давлений, при которых срабатывают предохранительные устройства, зависит от многих факторов.

В рабочем сосуде давление дейтерия во время экспозиции 0,3 ата, при конденсации дейтерия - 1,1 ата. Во время закачки дейтерия компрессором давление повышают до 1,3 ата. Давление в мишени и емкостях аварийного сброса при заполнении их всем дейтерием, имеющимся в установке, не более 1,25 ата. Поэтому давление разрыва мембраны рабочего сосуда было выбрано равным 1,5 атм.

Охранный сосуд, заполненный водородом, во время работы соединен с атмосферой. Давление в нем 1 ата. Во время конденсации дейтерия прямой выход в атмосферу закрывается, и газообразный водород проходит через змеевик. Давление в охранном сосуде поднимается до 1,3 ата. При внезапной порче вакуума в кожухе давление в охранном сосуде повышается, при давлении 1,5 ата разрывается мембрана и водород выходит в атмосферу. Давление разрыва мембраны, которое определяет максимальное давление в охранном сосуде, было выбрано исходя из сопротивления линии сброса водорода в аварийном режиме. В вакуумном кожухе давление выше атмосферного возможно в двух случаях. Во-первых, при разрыве лавсанового окна рабочего сосуда. В этом случае полость вакуумного кожуха будет связана с рабочим сосудом, и максимальное давление в нем будет определяться давлением разрыва мембраны рабочего сосуда /1,5 атм/. Во-вторых, повышение давления может происходить во время отепления мишени. Это возможно при натекании в кожух воздуха из окружающей среды, а также водорода или дейтерия из охранного или рабочего сосудов. Эти газы в период работы мишени вымерзают на холодных поверхностях сосудов и адсорбируются активированным углем, находящимся в вакуумном пространстве. После отепления мишени происходит возгонка газов, в результате давление в кожухе растет. Предохранительный клапан, соединяющий вакуумную полость с атмосферой, должен открываться при давлении, большем чем 1,5 атм, чтобы не произошла потеря дейтерия при разрыве окон рабочего сосуда. Поэтому давление срабатывания клапана вакуумного кожуха выбрано равным 2 атм.

В таблице приводятся величины максимально возможных давлений в сосудах мишени.

| Сосуды мишени | Давление, атм. | |
|-----------------------|----------------|---------|
| | внутри | снаружи |
| Рабочий | 1,5 | 2 |
| Охранный | 1,5 | 2 |
| Вакуумный кожух | 2 | 1 |
| Ванна азотного экрана | 1,2 | 1 |

При порче вакуума в кожухе мишени воздухом из атмосферы максимальный теплоприток воспринимает охранный сосуд. Водород, испаряющийся из охранного сосуда, выходит в линию аварийного сброса водорода диаметром 300 мм, которая находится в экспериментальном зале ускорителя ИФВЭ^{1/5/}. Участок трубо-

провода, соединяющий охранный сосуд мишени с этой линией, выполнен из гибкого металлического рукава диаметром 100 мм и длиной 6 метров. Вычисленное сопротивление этого участка составляет не более 0,5 атм. Для расчета была принята удельная тепловая нагрузка, равная 60 000 ккал/м² час^{1/6/}. Учитывалось также, что сопротивление гибкого металлического рукава в 2-4 раза больше сопротивления гладкого трубопровода такого же диаметра^{1/7/}.

В 1972 году установка с жидкодейтериевой мишенью работала на серпуховском ускорителе два сеанса: первый - 240 часов, второй - 300 часов.

Технические данные мишени

1. Длина рабочего сосуда мишени:
 - при $T = 293^{\circ} \text{K}$ - 3000 ± 0,5 мм
 - при $T = 20,4^{\circ} \text{K}$ - 2991 ± 0,5 мм
2. Диаметр лавсановых окон - 120 мм
3. Количество вещества лавсана на пути частиц на входе в мишень и на выходе из нее - по 0,0525 г/см
4. Количество дейтерия на пути частиц - 51,12 г/см²*
5. Объем рабочего сосуда - 36 литров
6. Объем охранного сосуда - 100 литров
7. Испаряемость: водорода - 50 литров
- азота - 1,2 л/час
- 0,5 л/час
8. Время непрерывной работы без пополнения водородом - 90 часов
9. Время конденсации дейтерия для полного заполнения рабочего сосуда - 8 часов
10. Время закачки дейтерия в баллоны после окончания экспозиции - 6 часов
11. При первоначальной заливке необходимо
 - жидкого водорода - 300 литров
 - жидкого азота - 150 литров

* Количество дейтерия на пути частиц рассчитано из условия, что давление над жидким водородом в охранном сосуде поддерживается постоянным и равно 780 мм рт.ст. Давление дейтерия в рабочем сосуде, соответствующее этому давлению водорода, равно 229,2 мм рт.ст, а плотность его 0,1709 г/см² /рис. 3^{1/3/}.

Авторы выражают признательность Н.И.Павлову за поддержку и постоянный интерес к работе, А.Г.Зельдовичу за обсуждение и полезные советы при создании установки. Авторы также благодарны сотрудникам криогенного отдела, НЭЭО, ПТО, ОГЭ Лаборатории высоких энергий, Центральным экспериментальным мастерским, Серпуховского научно-экспериментального отдела, усилиями которых установка была спроектирована, изготовлена и введена в эксплуатацию за чрезвычайно короткий период: с мая 1971 года по февраль 1972 года.

Литература

1. С.Г.Басиладзе, Т.В.Беспалова, В.К.Бирулев, З.В.Борисовская и др. Сообщение ОИЯИ, Р1-5361, Дубна, 1970.
2. Л.Б.Голованов, В.Л.Мазарский, А.П.Цвинев. ПТЭ, №5, 45, /1971/.
3. R.J.Tapper. Preprint NIRL/R/95. University of Cambridge, 1965.
4. Ю.Т.Борзунов, Л.Б.Голованов, В.Л.Мазарский, А.П.Цвинев. ОИЯИ, Р8-5212, Дубна, 1970.
5. С.Е.Гизиберия, И.А.Гусев, Ю.П.Дмитриевский, А.Л.Жадкевич и др. Препринт ИФВЭ, 72-31, Серпухов, 1972.
6. Н.П.Малков, А.Б.Фрадков, А.Г.Зельдович, И.Б.Данилов. Справочник по физико-техническим основам глубокого охлаждения. М., Госэнергоиздат, 1963.
7. А.И.Крюков, И.М.Глинкин, В.И.Фионин. Гибкие металлические рукава. М., из-во "Машиностроение", 1970.
8. Физико-химические свойства элементов. Справочник. Издательство "Наукова думка", Киев, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 февраля 1973 года.

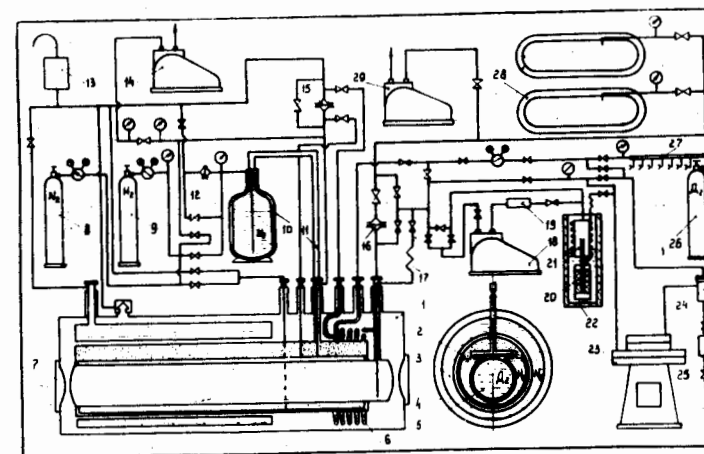


Рис. 1. Схема установки с 3-метровой жидкодейтериевой мишенью: 1 - мишень, 2 - охранный сосуд, 3 - азотный экран, 4 - вакуумный кожух, 5 - рабочий сосуд, 6 - теплообменник, 7 - заглушка, 8 - баллон азотный, 9 - баллон водородный, 10 - дьюар с жидким водородом, 11 - переливной сифон, 12 - предохранительная мембрана сосуда дьюара, 13 - пламяпреградитель, 14 - вакуумный насос для откачки водородных коммуникаций, 15 - предохранительная мембрана охранный сосуда, 16 - предохранительная мембрана рабочего сосуда мишени, 17 - змеевик, 18 - вакуумный насос для откачки дейтериевых коммуникаций, 19 - фильтр, 20 - адсорбер, 21 - осушитель, 22 - пенопластовый дьюар, 23 - компрессор, 24 - фильтр-маслоотделитель, 25 - бачок продувки, 26 - баллоны с дейтерием, 27 - рампа, 28 - емкости, 29 - насос для откачки емкостей.

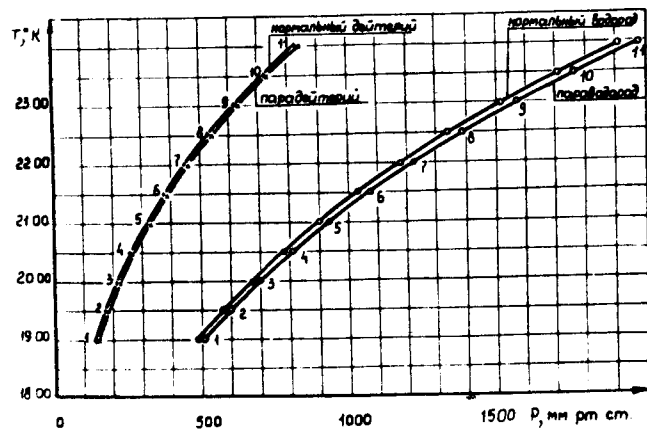


Рис. 2. Зависимость температуры от давления жидких нормального дейтерия и парадейтерия, нормального водорода и пара-водорода.

| Точки на рис. 2 : | Температура: $^{\circ}\text{K}$ | Давление мм рт.ст. | | | |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|----------------|
| | | нормальный дейтерий : | парадейте-рий : | нормальный водород : | пара-водород : |
| 1. | 19,00 | 145 | 147 | 490 | 512 |
| 2. | 19,50 | 179 | 182 | 577 | 601 |
| 3. | 20,00 | 220 | 222 | 674 | 702 |
| 4. | 20,50 | 267 | 270 | 805 | 813 |
| 5. | 21,00 | 321 | 324 | 902 | 937 |
| 6. | 21,50 | 383 | 387 | 1035 | 1075 |
| 7. | 22,00 | 451 | 458 | 1182 | 1226 |
| 8. | 22,50 | 534 | 538 | 1343 | 1391 |
| 9. | 23,00 | 624 | 629 | 1520 | 1573 |
| 10. | 23,50 | 721 | 730 | 1712 | 1770 |
| 11. | 24,00 | 836 | 843 | 1923 | 1984 |

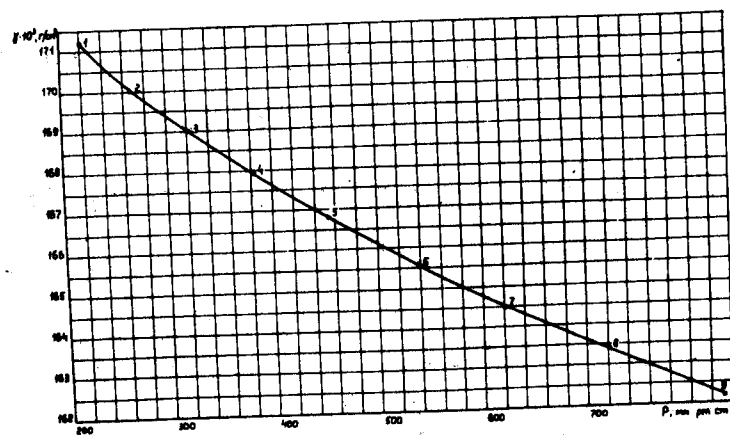


Рис. 3. Зависимость плотности от давления жидкого нормального дейтерия.

| Точки на рис. 3.: | Температура: $^{\circ}\text{K}$ | Давление : мм рт.ст.: | Плотность | |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|
| | | | г/моль/см ³ * | г/см ³ |
| 1. | 20,00 | 220 | 23,531 | 0,1712 |
| 2. | 20,50 | 267 | 23,682 | 0,1700 |
| 3. | 21,00 | 324 | 23,837 | 0,1690 |
| 4. | 21,50 | 383 | 23,994 | 0,1679 |
| 5. | 22,00 | 454 | 24,155 | 0,1668 |
| 6. | 22,50 | 534 | 24,319 | 0,1656 |
| 7. | 23,00 | 624 | 24,486 | 0,1645 |
| 8. | 23,50 | 721 | 24,657 | 0,1634 |
| 9. | 24,00 | 836 | 24,831 | 0,1622 |

* 1 г/моль дейтерия равен 4,029947 /8/.