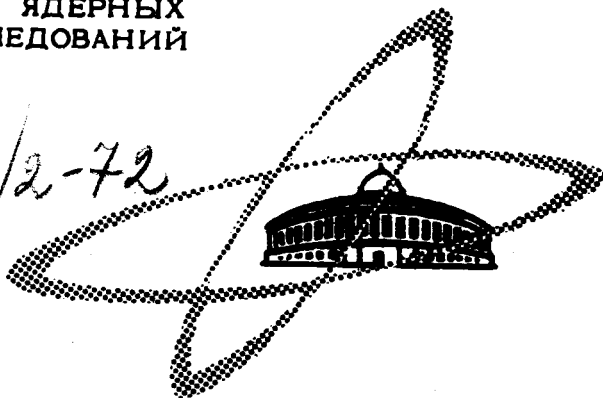


И-185  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

УЗ60/2-72

13 - 6618



А.И. Иваненко, К.Д. Туманов, А.Н. Филипсон

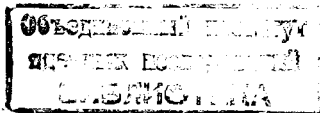
УЛАВЛИВАНИЕ И РЕГЕНЕРАЦИЯ ГАЗОВ  
НЕОНА И КСЕНОНА

13 - 6618

А.И. Иваненко, К.Д. Туманов, А.Н. Филипсон

УЛАВЛИВАНИЕ И РЕГЕНЕРАЦИЯ ГАЗОВ  
НЕОНА И КСЕНОНА

*Направлено в ПТЭ*



При проведении экспериментов на ускорителях многозарядных ионов основными ускоряемыми частицами для облучения мишеней из тяжелых элементов являются ионы неона ( $Ne$ ) и ксенона ( $Xe$ ). Часто возникает необходимость ускорения нейтроноизбыточных изотопов указанных газов, таких как  $^{22}Ne$  и  $^{136}Xe$ .

В естественных газах концентрация изотопов  $^{22}Ne$  и  $^{136}Xe$  составляет 7,8% и 8,53% соответственно. Для увеличения интенсивности ускоренных пучков в источник многозарядных ионов подаются обогащенные газы с концентрацией изотопов неона-22 и ксенона-136 70-90%, получаемые на специальных разделительных установках. Так как стоимость этих изотопов велика, то была поставлена задача многократного использования газов при сохранении высокой степени обогащения.

### *1. Система откачки обогащенных газов*

Для улавливания и последующей регенерации неона-22 и ксенона-136 в Лаборатории ядерных реакций созданы две отдельные установки. Последовательность прохождения газа через систему улавливания следующая: газ из резиновых камер с помощью специального дозирующего вентиля, управляемого дистанционно, подается в источник многозарядных ионов. /Применение резиновых камер вызвано необходимостью сохранения постоянного давления на входе в дозирующий вентиль по мере выработки газа из камеры/. Газ /  $Ne$  или  $Xe$  /, поступающий из источника, смешиваясь с остаточными газами вакуумного объема, откачивается высоковакуумными паромасляными насосами типа ВА-8-4, проходит по линии предварительного разрежения и в режиме улавливания накапливается в масляном баке герметичного форвакуумного насоса ВН-4Г. Из бака смесь по отдельному трубопроводу поступает в ус-

тановку регенерации, /см. рис. 1/, где газ отделяется от примесей для последующего использования.

Выпускаемые промышленностью форвакуумные насосы ВН-4Г обеспечивают откачку вакуумных объемов и диффузионных насосов, но недостаточно герметизированы по валу, корпусу и в масляном баке. Для более надежной герметизации насосов, улавливающих изотопные газы, в Лаборатории разработана конструкция уплотнения вала, в которой используется способность скольжения фторопласта-4 по металлу в среде форвакуумного масла /рис. 2/.

Корпус насоса и масляный бак дополнительно герметизированы с помощью прокладок из маслостойкой резины и бакелитового лака. К масляному баку герметизированного насоса ВН-4Г подведены два вакуумных трубопровода с вентилями Ду-10: для предварительной откачки воздуха из бака перед улавливанием  $^{22}\text{Ne}$  и  $^{136}\text{Xe}$  и для подачи газа на установку регенерации.

В случае необходимости специально герметизированные насосы могут быть использованы для откачки вакуумного объема при работе источника многозарядных ионов на газах, не подлежащих улавливанию /  $\text{BF}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и т.п./ . Обычно для этой цели используются форнасосы №1 и №2.

## II. Установка регенерации неона

Для отделения неона от остальных компонентов газовой смеси используется свойство избирательного поглощения сорбентом /активированным углем/ газов  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{Ne}$  в ловушке, охлаждаемой жидким азотом.

Первый вариант установки регенерации был разработан в Лаборатории ядерных реакций в 1962-63 годах под руководством В.Г.Рогозинского. В этой установке соединительные трубки и клапаны изготовлялись из стекла, сама установка отличалась значительной сложностью и невысокой надежностью в работе. Дальнейший опыт эксплуатации позволил существенно упростить схему регенерации изотопных газов. Была создана новая установка, в которой сохранен прежний принцип работы. Соединительные трубопроводы выполнены из медной трубки  $\phi = 10 \times 1$ , оставлен один канал регенерации с ловушкой, охлаждаемой жидким азотом. Установка укомплектована стандартными вентилями Ду-10, выпускаемыми промышленностью. Процесс регенерации неона происходит следующим образом:

Смесь, накопленная в баке герметизированного насоса ВН-4Г, по трубопроводу поступает на установку. При работе циклотрона

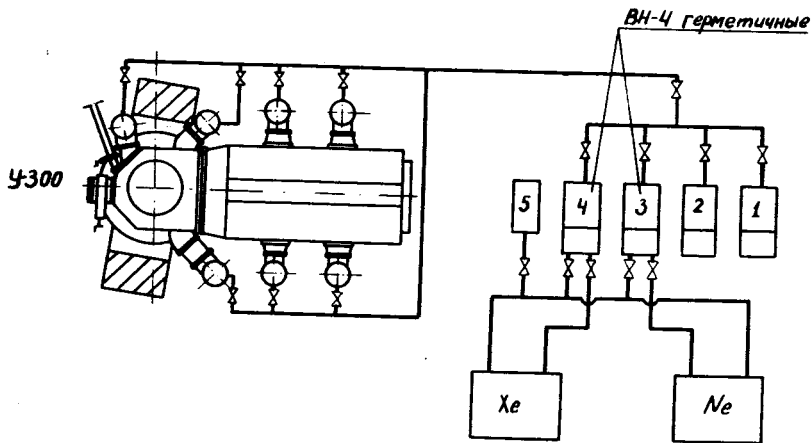


Рис. 1. Схема вакуумной откачки ускорителя У-300;  $Xe$  - установка для регенерации ксенона;  $Ne$  - установка для регенерации неона;  $\nabla$  - вакуумные вентили; 1-4 - форвакуумные насосы ВН-4; 5 - форвакуумный насос ВН-1.

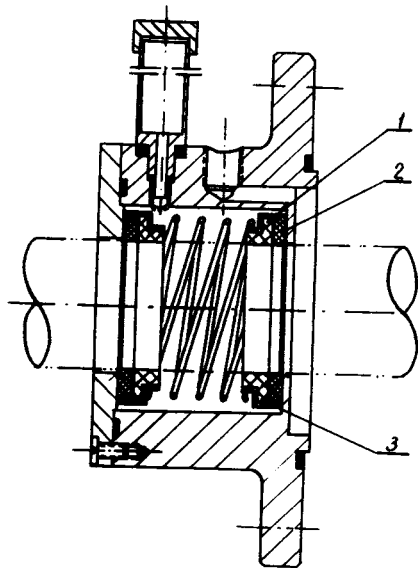


Рис. 2. Герметизация выходного вала насоса ВН-4Г. 1 - манжета; 2 - уплотняющее кольцо из фторопласта-4; 3 - обечайка.

в режиме ускорения примерно 70% от общего количества поступающей смеси, составляет внешнее натекание и десорбция с внутренних поверхностей вакуумного объема ускорителя. Остальные 30% газового потока приходится на неон, поступающий из источника многозарядных ионов. Основная часть остаточного газа состоит из азота и паров воды, что необходимо учитывать при регенерации неона.

Схема установки представлена на рис. 3. Через клапаны  $K_1$  и  $MK_1$  смесь поступает в специальную ловушку /2/, заполненную активированным углем. Ловушка погружается в сосуд Дьюара

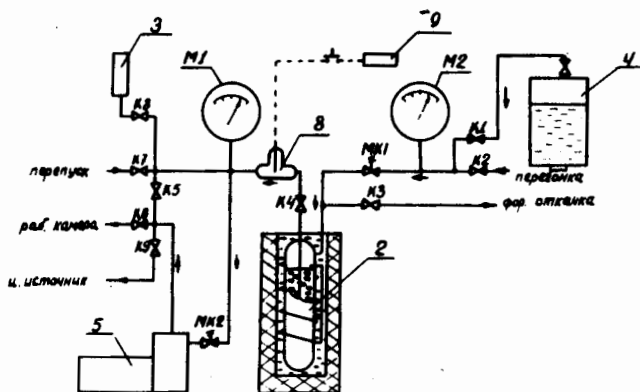


Рис. 3. Схема установки для регенерации неона. 1 -  $M_1$  -  $M_2$  - мановакуумметры; 2 - ловушка; 3 - прибор для определения % содержания неона-22; 4 - масляный бак форнасоса ВН-4Г; 5 - перекачивающий герметичный насос; 6 -  $K_1$  -  $K_8$  - клапаны Ду-10; 7 -  $MK_{1-2}$  - клапаны магнитные МК-10; 8 - газоразрядная трубка; 9 - искровой течеискатель.

с жидким азотом. Процесс адсорбции находится в прямой зависимости от температуры газовой смеси, поступающей в ловушку, и температуры сорбента. Поэтому ловушка /2/ выполнена так, чтобы газовый поток предварительно проходил по спиральной трубке, намотанной вокруг этой ловушки, охлаждаемой жидким азотом. В спиральной трубке одновременно с предварительным охлаждением газовой смеси происходит вымораживание  $CO_2$ , паров воды и форвакуумного масла. Азот и кислород, содержащиеся в газовой смеси, адсорбируются активированным углем. Неон, имеющий температуру насыщенных паров  $T = -246^\circ C$ , находится в газообразном состоянии и проходит через ловушку практически без потерь.

В начальный момент газовый поток в установке /порядка 1л/мин/ создается за счет перепада давлений между масляным баком и ловушкой, охлаждаемой жидким азотом. Величина газового потока регулируется клапанами  $K_1$  и  $K_2$  по манометру  $M_1$ . Для поддержания постоянства газового потока при давлении в ловушке  $P = 1$  тор. включается герметичный насос /5/. Регенерированный газ через клапан  $K_5$  нагнетается в рабочие камеры. Перед началом цикла регенерации ловушка должна быть освобождена от газов путем прогрева в течение 30 мин. до температуры  $T = 450^\circ C$  с одновременной откачкой его через клапан  $K_3$  до давления  $P = 5 \cdot 10^{-2}$  тор. В установке предусмотрена возможность подачи регенерированного газа через клапан  $K_9$  непосредственно в источник многозарядных ионов.

Для оперативного контроля потока неона на выходе из ловушки установлен индикатор /8/, представляющий собой стеклянную трубку. Внутри трубки впаив электрод, на который подается высокочастотное напряжение от искрового течеискателя. Красное /"неоновое"/ свечение трубки свидетельствует о прохождении через нее неона. Изменение цвета газового разряда сигнализирует о насыщении ловушки. В наших условиях объем ловушки /150 см<sup>3</sup>/ достаточен для регенерации одного литра неона. Точное определение процентного содержания  $^{22}Ne$  в уловленном газе производится по методике, разработанной в Лаборатории ядерных реакций А.А.Плеше с помощью радиоактивного  $\alpha$ -источника и нейтроинного счетчика. Контроль за количеством уловленной газовой смеси и накоплением ее в масляном баке насоса ВН-4Г осуществляется по мановакуумметру  $M_2$ . На установке предусмотрен /клапаны  $K_7$  и  $K_6$ / перепуск /перекачка/ неона из стеклянных колб, предназначенных для длительного хранения, в рабочие камеры. Повторная регенерация газа /при необходимости/ осуществляется через клапан  $K_2$ .

Для исключения потерь уловленного газа при аварийных ситуациях на вакуумных системах циклотрона в установке предусмотрены два автоматически закрывающихся магнитных клапана. Клапан МК закрывается при повышении давления в линии предварительного разрежения выше установленного предела. Оба клапана /МК<sub>2</sub> и МК<sub>1</sub> / закрываются при остановке герметичного насоса /5/. Время, необходимое для регенерации одного литра неона, составляет 30-40 минут.

Установка позволяет осуществлять 8-9 полных циклов обращения подаваемого в источник неона при сохранении высокой степени обогащения уловленного газа. Ограниченное количество циклов связано с тем, что около 5% неона-22 теряется в процессе ускорения, 5% откачивается ионопроводом, и 2-3% составляют потери в самой установке.

Описанная выше система улавливания и регенерации в равной степени может быть использована для отделения от примесей гелия-3.

### III. Установка регенерации ксенона

Для разделения компонентов газовой смеси и последующей регенерации ксенона применен метод, использующий различия в температурах кипения и давлениях насыщенных паров уловленных газов. Так, если при атмосферном давлении /  $p = 760$  тор / температура кипения насыщенных паров для Хе составляет  $T = -112^\circ \text{C}$ , то остальные компоненты газовой смеси кипят при следующих температурах: азот  $T = -196^\circ \text{C}$ , кислород  $T = -183^\circ \text{C}$ ,  $\text{CO}_2$   $T = -78^\circ \text{C}$ . Отделение таких составляющих, как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , а также паров форвакуумного масла осуществляется при предварительном охлаждении газовой смеси до  $T = -90^\circ \text{C}$ .

Для выделения ксенона из оставшейся смеси используется различие в давлениях насыщенных паров газов при  $T = -196^\circ \text{C}$ . Так, ксенон при этой температуре имеет давление паров  $P = 1.10^{-3}$  тор, азот и кислород - соответственно 760 тор и 170 тор, а водород, гелий и неон находятся в газообразном состоянии<sup>/3/</sup>. Откачка ловушки до  $P = 1.10^{-1}$  тор освобождает Хе, находящийся в твердом состоянии, от газовых примесей. При повышении температуры выше  $T = -112^\circ \text{C}$  происходит выделение ксенона.

Схема установки представлена на рис. 4. Газовый поток /  $S = 1$  л/мин / с помощью герметичного форнасоса /5/ перекачива-



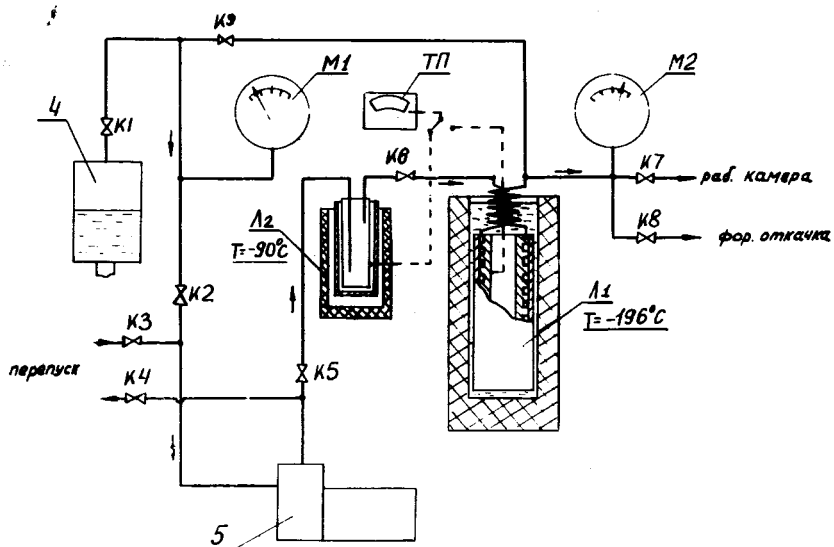


Рис. 4. Схема установки регенерации ксенона. 1 -  $M_1 - M_2$  - мановакуумметры; 2 - ТП - термопарный прибор; 3 -  $L_1$  - ловушка регенерации Xe;  $L_2$  - предварительная ловушка; 4 - масляный бак форноса ВН-4Г; 5 - перекачивающий герметичный насос; 6 -  $\nabla$  - клапаны Ду-6.

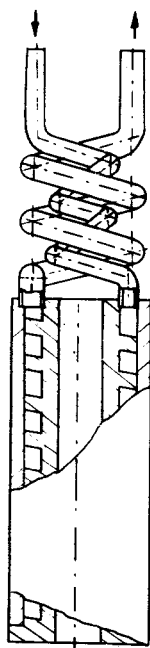


Рис. 5. Ловушка регенерации ксенона.

ется через ловушку  $L_2$ , охлаждаемую парами жидкого азота до  $T = -90^\circ \text{C}$  для отделения от газовой смеси  $\text{CO}_2 \text{H}_2\text{O}$ , а также паров форвакуумного масла.

Оставшаяся газовая смесь поступает в ловушку  $L_1$ , охлаждаемую жидким азотом до  $T = -196^\circ \text{C}$ . Контроль за температурой стенок ловушек  $L_1$  и  $L_2$  осуществляется с помощью термопары. Ловушка /рис. 5/ представляет собой медный стакан диаметром 40 мм, высотой 100 мм, имеющий внутренний бифилярный винтовой канал. Объем ловушки  $V = 25 \text{ см}^3$ . Ввод и вывод выполнены из медных трубок.

При достижении в ловушке давления  $P = 760$  тор /по манометру  $M_2$  / для выпуска не сконденсированных на стенках ловушки газов открывается клапан  $K_7$  /. По окончании цикла вымораживания клапаны  $K_6$  и  $K_7$  закрываются, и через клапан  $K_8$  ловушка откачивается до давления  $P = 1.10^{-4}$  тор. Затем клапан  $K_8$  закрывается, и прекращается охлаждение ловушки жидким азотом. При повышении температуры стенок ловушки  $L_1$  выше  $T = -112^\circ \text{C}$  происходит выделение ксенона, который через клапан  $K_7$  перепускается в рабочую камеру для последующего использования.

С целью более полного извлечения ксенона из ловушки применено устройство, состоящее из вакуумного объема и резиновой камеры. Ксенон перегоняется из ловушки в камеру за счет 10-кратного увеличения объема резиновой камеры при растяжении ее стенок в результате откачки воздуха из вакуумного объема. На установке предусмотрен перепуск ксенона из стеклянного сосуда в рабочую камеру /клапаны  $K_3$  и  $K_4$  / и повторная регенерация /клапан  $K_3$  /.

В процессе эксплуатации возникли определенные трудности в хранении ксенона, ввиду необходимости использования резиновых камер для подачи газа в ионный источник. Обнаружено, что потери  $\text{Xe}$  за одни сутки хранения достигают 30% от общего его количества в камере. Увеличение толщины стенок камеры с 1 мм до 3 мм /резина вакуумная ТУ МХП 7889/ в 4-5 раз уменьшило потери газа.

В настоящее время с помощью установки регенерации ксенона достигается 6-7 полных циклов обращения подаваемого в источник газа с высокой степенью обогащения.

Авторы приносят благодарность Б.А.Загеру за полезные замечания при подготовке статьи к печати, П.В.Гутнику - за помощь в изготовлении и наладке установок улавливания.

*Литература*

1. Г.Н.Флеров. ОИЯИ, Р15-4315, Дубна, 1969.
2. Г.Н.Флеров. ОИЯИ, Р7-6262, Дубна, 1972.
3. Справочник по разделению газовых смесей. Госхимиздат, 1953.

*Рукопись поступила в издательский отдел  
21 июля 1972 года.*