

лась методом сравнения времени высветивания быстрого и полного компонентов сцинтилляционной вспышки. Аппаратурные распределения преобразовывали в энергетические спектры по известной методике [1]. Спектры обрабатывали на ЭВМ БЭСМ-4 по разработанной программе. Градуировка энергетической шкалы спектрометра была проведена с помощью ( $^{239}\text{Pu} + \text{Be}$ )-источника нейтронов. Погрешность градуировки в исследуемом энергетическом диапазоне была не хуже 10%. Статистическая погрешность аппаратурных распределений в последних каналах анализатора составляла 10%. Погрешность преобразования амплитудных распределений протонов отдачи в энергетические спектры нейтронов определялась в основном точностью калибровки энергетической шкалы спектрометра и точностью калибровки нейтронного источника и составляла 30% при  $E_n = 10$  МэВ. При измерении спектров нейтронный фон зала достигал 3%. Результаты представлены на рисунке. Спектры для мишеней Be, C, Al, Mo, Pb измерены при энергии дейтронов 12,4 МэВ, а для мишеней Ni, Cu, Ta — при 13,2 МэВ. Как видно из рисунка, в измеренных спектрах под углом  $0^\circ$  для всех мишеней имеется большой относительный вклад высокоэнергетических нейтронов, который может быть

объяснен наличием прямых процессов в реакциях с дейтронами. Этими нейтронами в основном обусловлена анизотропия угловых распределений в направлении вперед. В спектрах, измеренных под другими углами ( $45, 90$  и  $135^\circ$ ), наблюдается более резкое уменьшение числа нейтронов с ростом энергии, чем под углом  $0^\circ$ . С увеличением атомного номера мишени  $Z$  выход нейтронов уменьшается. Это уменьшение особенно заметно при малых  $Z$ . Отмеченные характерные особенности полученных нейтронных спектров согласуются с результатами более ранних работ, проведенных при других энергиях дейтронов. Для мишени из тантала сравнение с данными работы [2], выполненной при близкой энергии дейтронов, показало, что результаты настоящей работы и работы [2] совпадают в пределах погрешности эксперимента.

Поступило в Редакцию 28/II 1977 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казанский Ю. А. и др. «Атомная энергия», 1966, т. 20, вып. 2, с. 143.
2. Borchers R., Wood R. «Nucl. Instrum. and Methods», 1965, v. 35, p. 138.

УДК 621.039.34

## Масс-диффузионный каскад для производства изотопов неона

САРИШВИЛИ О. Г., ГВИНДЖИЛИЯ А. А., ГАМИНСКИЙ В. А., ТЕВЗДЗЕ Г. А.

Масс-диффузионный метод разделения изотопов основан на различии скорости диффузии компонентов смеси в потоке вспомогательного пара. Впервые разделение смесей в струе пара было проведено Герцем [1, 2]. Дальнейшее развитие этот метод получил в работах [3, 4], где была показана высокая устойчивость технологического режима масс-диффузионных каскадов, которая вместе с простотой конструкции и легкостью обслуживания делают этот метод пригодным для производства ряда изотопов (в основном изотопов инертных газов) в количествах от сот граммов до нескольких килограммов в год.

Эти работы послужили основой при создании масс-диффузионного каскада, предназначенного для производства  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$ . Разделительные элементы, схема которых описана в работе [4], были изготовлены из нержавеющей стали и работали на парах ртути. Испаритель каждого элемента содержал  $700\text{ см}^3$  ртути и был снабжен электрическим нагревателем мощностью 800 Вт. Для предотвращения переноса ртути вдоль каскада все испарители соединяются между собой снизу, образуя единую систему сообщающихся сосудов.

Цилиндрические диафрагмы были изготовлены из металлической фольги толщиной 0,1 мм и имели 50 отверстий диаметром 0,15 мм на  $1\text{ см}^2$  поверхности. При этом эффективная толщина диафрагмы составляла 1,1 см. Длина и диаметр рабочего участка диафрагмы 150 и 58 мм. Элементы снабжены цилиндрическим боковым и верхним дополнительным холодильниками с водяным охлаждением. Легкая фракция из элемента выходит через капилляр диаметром 2,7 мм, к которому подсоединялся U-образный манометр для контроля за ступенчатым потоком газа.

Из 60 разделительных элементов, составляющих каскад, 10 работали на исчерпывание. Изотопы  $^{22}\text{Ne}$  и  $^{20}\text{Ne}$  получали путем последовательных кампаний,

причем отвалный продукт, образующийся при концентрировании  $^{22}\text{Ne}$  и содержащий 5% этого изотопа, использовался в качестве питания при концентрировании  $^{20}\text{Ne}$ . Постоянный баланс в каскаде поддерживался при стабилизированных потоках питания и отбора регулированием потока отвала по величине рабочего давления, которое составляло 70 мм рт. ст. Продукт собирался в баке с более низким давлением.

Разделительные элементы работали при значении критерия Пекле  $\ln q = 2,25$  и коэффициенте парораспределения  $\theta_{II} = 0,14$ . Поток легкой фракции при этом составлял  $2,8\text{ н. см}^3/\text{с}$ , а полный коэффициент обогащения  $\varepsilon = 0,12$ . Эти значения получены путем усреднения по всем элементам каскада. В каскаде весьма быстро устанавливалось стационарное состояние (рис. 1),

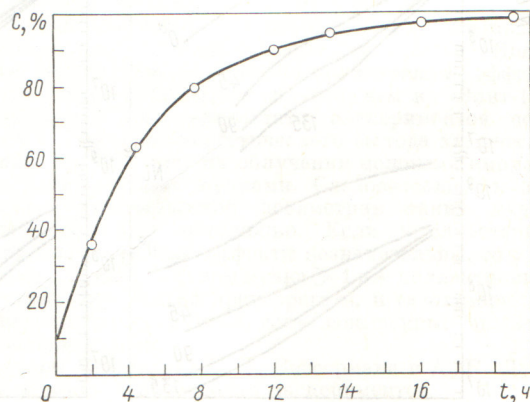
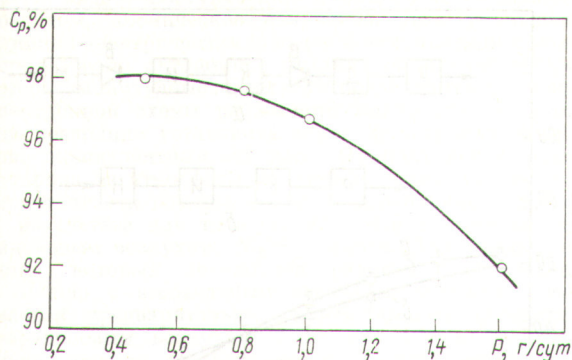
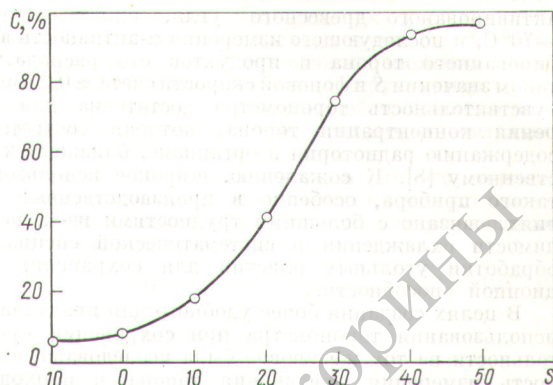


Рис. 1. Установление стационарного состояния в каскаде при концентрировании  $^{22}\text{Ne}$

Р и с. 2. Зависимость концентрации  $^{22}\text{Ne}$  от отбора

что позволяло начинать отбор продукта уже через 12 ч после запуска. Такое короткое время установления значительно повышает надежность эксплуатации и является одним из важных положительных свойств масс-диффузионного метода.

На рис. 2 показана зависимость концентрации  $^{22}\text{Ne}$  от величины потока отбора. При оптимальном отборе 1,45 г/сут концентрация продукта составляла 92%. При получении  $^{20}\text{Ne}$  производительность каскада составляла 17 г/сут с концентрацией 99,7%. На рис. 3 представлен профиль концентраций в каскаде при концентрировании  $^{22}\text{Ne}$ . В ряде опытов при получении  $^{22}\text{Ne}$  к головной части каскада была подключена параллельно дополнительная секция из 20 элементов, придавшая каскаду прямоугольно-ступенчатую форму. При этом в результате увеличения потока в головной части

Р и с. 3. Профиль концентраций  $^{22}\text{Ne}$  в каскаде при отборе 1 г/сут

каскада удалось повысить отбор до 3,1 г/сут с концентрацией более 90%. Работа такого профилированного каскада также отличалась высокой устойчивостью.

Поступило в Редакцию 2/III 1977 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hertz G. «Phys. Z.», 1922, Bd 23, S. 433.
2. Hertz G. «Z. Physik», 1934, Bd 91, S. 810.
3. Гвердцители И. Г., Цхакая В. К. В кн.: Получение изотопов. Тр. Всесоюз. науч.-техн. конф. по применению радиоактивных и стабильных изотопов в народном хозяйстве и науке. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 113.
4. Гвердцители И. Г., Кучеров Р. Я., Цхакая В. К. II Женевск. конф., 1958. Докл. СССР P/2086.

УДК 550.835.08

## Установка для измерения содержания торона в выдыхаемом воздухе

ПЕТУШКОВ А. А., ЗЕЛЬЦЕР М. Р.

Известно, что при оценке дозы внутреннего облучения определяющими являются сведения о содержании радиоактивных изотопов в теле человека. В случае тория и торийсодержащих материалов проблема определения дозовой нагрузки связана с оценкой депонирования в основном долгоживущих радионуклидов ториевого ряда и, в частности, радиотория  $^{228}\text{Th}$ .

Одним из наиболее чувствительных методов определения радиотория, депонированного в организме человека, является эманационный метод, основанный на измерении торона в выдыхаемом воздухе [1]. Торон — радиоактивный газ с коротким периодом полураспада, образуется из  $^{224}\text{Ra}$  — дочернего продукта радиотория. Вместе с продуктами распада торон дает около 80% энергии  $\alpha$ -излучения всего ряда тория. Хотя количество торона в организме и в выдыхаемом воздухе не находится в равновесии с радиоторием, последний может быть определен по концентрации торона в выдыхаемом воздухе, если известна степень равновесности. Таким образом, в случае поступления радиотория в организм человека проблема определения дозо-

вой нагрузки этим методом сводится к измерению торона в выдыхаемом воздухе и установлению корреляции между его концентрацией и дозой. Эти задачи весьма различны по своему характеру и являются вполне самостоятельными.

Настоящая работа посвящена измерению торона в выдыхаемом воздухе. Опубликовано довольно много работ с описанием торонметров (приборов для измерения торона в выдыхаемом воздухе) и результатов их применения, в частности, на людях, которым когда-то было введено рентгено-контрастное вещество — торотраст [2]. Большинство описанных торонметров [3—6] имеют относительно низкую чувствительность вследствие неполного использования активности торона, поступающего на вход. Степень использования эманации характеризуется коэффициентом  $S$  имп·л/(пКи·мин), который показывает скорость счета прибора при единичной удельной активности торона.

Наибольшую величину  $S = 3,3$  имп·л/(пКи·мин) имеет торонметр, описанный в работе [7]. Его действие основано на адсорбции торона тонким слоем