

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



6 - 6949

1719/2-73

А.Зелински, К.Зубер, Я.Зубер, А.Колачковски,  
В.В.Кузнецов, А.Латушински,  
Ю.В.Норсеев, А.В.Потемпа

БЫСТРЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ  
СЕПАРИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ  
РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ КРИПТОНА

**1973**

**ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ**

6 - 6949

А.Зелински, К.Зубер, Я.Зубер, А.Колачковски,  
В.В.Кузнецов, А.Латушински,  
Ю.В.Норсеев, А.В.Потемпа

БЫСТРЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ  
СЕПАРИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ  
РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ КРИПТОНА

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Методики выделения благородных газов, получаемых в ядерных реакциях, базируются на летучести газов, благодаря которой возможно быстрое и полное их выделение из облучаемой мишени /1-7/.

Адсорбция благородных газов на активированном угле, охлажденном до температуры жидкого азота, также играет большую роль. Благодаря ей во время растворения облученной мишени возможно быстрое и полное концентрирование газового продукта ядерной реакции, отделение его от дочерних продуктов радиоактивного распада, и, наконец, выделение в чистом виде после десорбции его из угля, нагретого до температуры  $300^{\circ}\text{C}$  /2/. Полученные таким образом препараты благородных газов обычно содержат небольшое количество примесей в виде водорода, кислорода, азота, водяного пара и т.п., что затрудняет их непосредственное масс-сепарирование. Эффективность и продолжительность масс-сепарирования в большой степени зависят от наличия примесей в препаратах благородных газов, адсорбированных на активированном угле. Эти примеси, вылетая из угля при его нагревании, снижают эффективность сепарации, а в отдельных случаях делают ее практически невозможной.

При спектрометрических исследованиях короткоживущих изотопов благородных газов использование описанных ранее методик /2,5/ было затруднительным ввиду длительности очистки полученных препаратов от газообразных примесей. В связи с этим была разработана описываемая методика выделения криптона /приемлемая также и для других благородных газов/.

В основу метода положен принцип эманирования криптона в вакууме из мишени SrO в момент облучения ее протонами 660 Мэв на синхроциклотроне ОИЯИ.

Учитывая информацию, содержащуюся в работах других авторов, также использовавших принцип эманирования благородных газов <sup>16</sup>, особое внимание мы уделили приготовлению мишени, что позволило проводить эксперименты без значительного нарушения вакуума во всей системе. Помимо этого разработана и реализована система транспортировки радиоактивных изотопов криптона, образующихся во время облучения, на расстояние до 40 м, что сделало возможным проведение исследований гамма-лучей в режиме "on line", без использования масс-сепаратора.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

*Химическая аппаратура.* Схема расположения аппаратуры для проведения экспериментов представлена на рис. 1. Материал

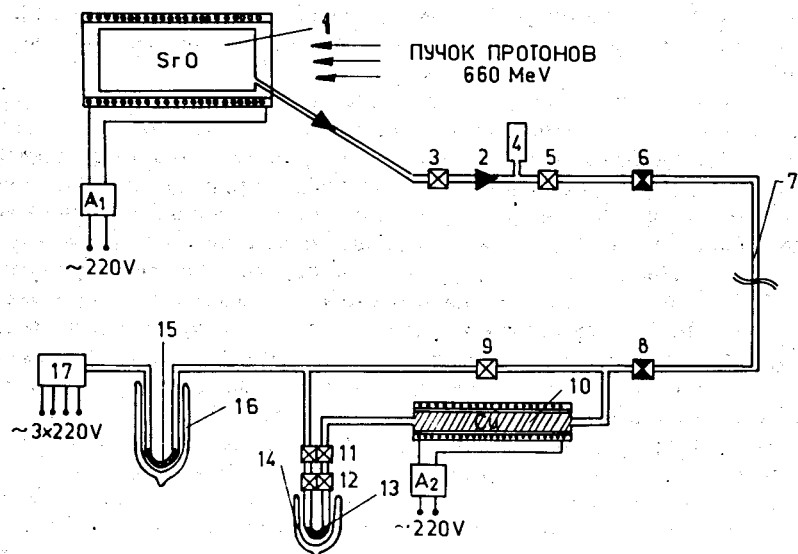


Рис. 1. Схема химической аппаратуры для выделения радиоактивного криптона /объяснения в тексте/.

мишени /около 460 г SrO / помещался в кварцевую ампулу /1/ с выходной трубкой, закрытой кварцевой ватой. Выходная трубка соединялась при помощи шлифа /2/ со стеклянным краном /3/. Следующая часть аппаратуры с вакуумной лампой

/4/ и краном /5/, изготовленная из стекла, соединялась с металлическим трубопроводом /7/. Трубопровод, имеющий на концах клапаны /6/ и /8/, собран из отрезков медной трубы / $\varnothing$  18 мм/, соединенных вакуумной резиной, а общая его длина в проводимых экспериментах менялась от 5 до 40 м. На выходе из трубопровода размещалась система очистки и поглотители. Во время облучения кран /9/ перекрывался, а поток газа проходил через поглотитель кислорода - трубку с мелко нарезанной медной проволокой, помещенную в печь, нагретую до  $\sim 400^\circ\text{C}$  /10/, вакуумные краны /11/ и /12/ и затем через ловушку Kr /13/, охлаждаемую жидким азотом в дьюаре /14/. В перерывах между очередными облучениями поток газа проходил прямо через открытый кран /9/ при закрытых зажимах /11/ и /12/. Только в этих условиях можно было во время эксперимента отсоединять ловушку Kr от системы. Для защиты от радиоактивного загрязнения форвакуумного насоса /17/ /скорость откачки 60 л/мин/ перед ним помещалась ловушка с активированным углем /15/, охлаждаемая жидким азотом /16/. Ампула с мишенью и поглотитель кислорода нагревались при помощи печей до одинаковой температуры  $\sim 400^\circ\text{C}$ . Регулирование нагрева осуществлялось с помощью автотрансформаторов  $A_1$  и  $A_2$ . Контроль вакуума во время экспериментов производился дистанционно.

*Приготовление мишени.* Проведенные предварительные эксперименты показали, что во время облучения порошка SrO в запаянной трубке, кроме радиоактивного криптона, выделялось еще небольшое количество газа. Поэтому проводилась предварительная обработка материала мишени. Порошок SrO /квалификации х.ч./ в течение 3 - 4 часов высушивался при температуре  $150^\circ\text{C}$ , затем тщательно растирался и пересыпался в высушенную ампулу. После этого ампула с порошком нагревалась до  $450^\circ\text{C}$  и откачивалась в вакууме до  $1 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст. Операция высушивания в вакууме проводилась перед каждым очередным опытом.

*Масс-сепарирование и измерительная аппаратура.* Для получения сепарированных источников короткоживущих изотопов криптона использовался электромагнитный масс-сепаратор установки ЯСНАПП - ЛЯП ОИЯИ. Его конструкция и технические параметры дают возможность получать на коллекторе достаточно сильные и хорошо сфокусированные пучки ионов. Детальное описание этого прибора дано в <sup>8,9</sup>. Разделение изотопов криптона производилось при помощи соответственно приспособленного источника ионов магнитного типа <sup>10,11</sup>.

Измерения гамма-спектров сепарированных источников про-

изводились с помощью  $Ge(Li)$ -детекторов и 4096-канального анализатора.

### 3. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Время облучения во всех проведенных опытах не превышало 15 минут.

Очень важным для правильного хода процесса выделения продуктов ядерной реакции является давление в системе. Оптимальное значение, гарантирующее быстрый перенос активности из ампулы в ловушку, не должно превышать  $1 \cdot 10^{-2}$  мм.рт.ст. Проведенные модельные опыты показали, что скорость переноса активности в этих условиях не ниже 1,5 м/сек.

Вышеописанные условия эксперимента позволили изучать радиоактивные изотопы с периодом полураспада порядка 1 мин. Измерение гамма-спектров показало, что полученные на данной установке радиоактивные источники содержат только изотопы криптона и продукты его распада.

На рис. 2 представлены результаты анализа спада активности  $^{79m}Kr$  с периодом полураспада  $T_{1/2} = 55$  сек.

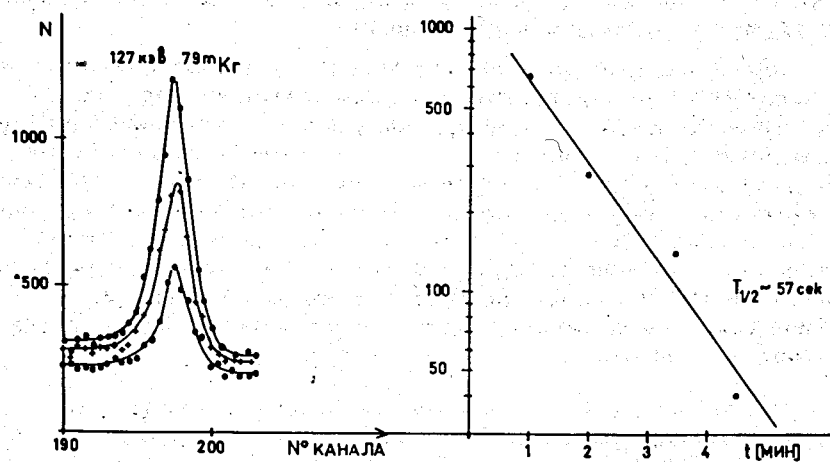


Рис. 2. Фрагменты гамма-спектров фракции криптона и кривая спада активности гамма-лучей с энергией 127 кэВ  $^{79m}Kr$ .

При разработке методики сепарирования изотопов криптона особое внимание было обращено на получение максимальной герметичности ионного источника и обеспечение оптимальных

условий его работы. Все предварительные измерения проводились с использованием стабильного криптона, который в последующих опытах выполнял роль газа-носителя и маркера. На рис. 3 представлены основные характеристики работы

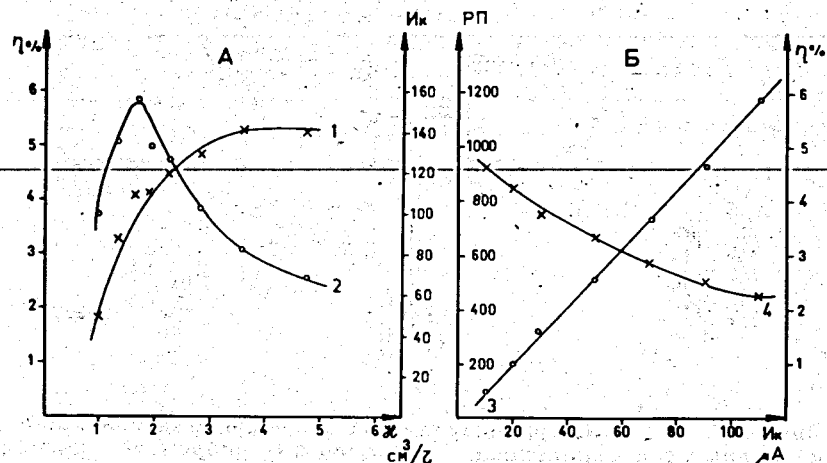


Рис. 3. Основные характеристики работы масс-сепаратора. Маркер: стабильный криптон. А. Зависимость коэффициента эффективности сепарирования  $\eta$  / кривая 2/ и силы ионного тока  $I_k$  / кривая 1/ от скорости подачи криптона  $H$  в ионный источник. Б. Зависимость разрешающей способности РП / кривая 4/ и коэффициента эффективности сепарирования / кривая 3/  $\eta$  от силы ионного тока  $I_k$  при постоянной подаче газа  $H = 1,6 \text{ см}^3/\text{час}$ .

масс-сепаратора при следующих условиях: ускоряющее напряжение  $U_a = 45$  кв, расстояние между выходным отверстием ионного источника и вытягивающим электродом  $d = 35$  мм и диаметр выходного отверстия ионного источника  $\sigma = 2$  мм. Изменение ионного тока  $I_k$  на коллекторе для получения определенного его значения осуществлялось путем выбора таких рабочих параметров ионного источника, как анодное напряжение, накал катода, величина магнитного поля. Потенциал вытягивающего электрода  $U_e$  подбирался каждый раз так, чтобы получить максимальное разрешение массовых линий на коллекторе. Разрешающая способность массовых линий на коллекторе измерялась с помощью электромеханического сканера. Представленные на рис. 3 /А и Б/ зависимости разрешили определить оптимальные условия сепарирования радиоактивных изотопов криптона.

На рис. 4 приведена система ввода стабильного и радиоактивного криптона в ионный источник масс-сепаратора. Ста-

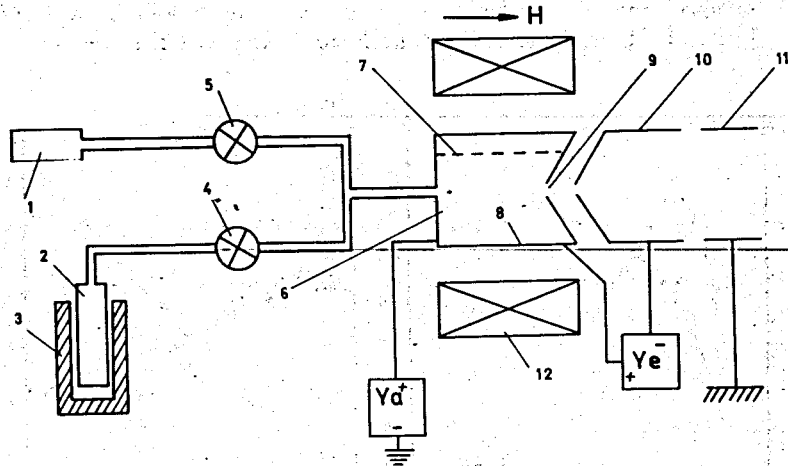


Рис. 4. Схема ввода радиоактивного криптона маркера в ионный источник масс-сепаратора. 1 - баллон с маркером, 2 - ловушка,  $Kr$ , 3 - печька, 4, 5 - игольчатые вентили, 6 - разрядная камера, 7 - катод, 8 - анод, 9 - выходное отверстие, 10 - вытягивающий электрод, 11 - масс-сепаратор, 12 - магнит.

бильный криптон подавался из камеры /1/ через игольчатый вентиль /5/. Ловушка с радиоактивным криптоном /2/ помещалась в печьку /3/ и подогревалась до температуры  $\sim 300^\circ C$ . Радиоактивный криптон десорбировался в этих условиях с активированного угля и подавался в разрядную камеру /6/ ионного источника через игольчатый вентиль /4/, который открывался постепенно, начиная с момента, когда сепаратор был настроен на оптимальные условия работы при использовании потока стабильного криптона. Удовлетворительная чистота радиоактивного криптона делала возможным сохранение этих оптимальных условий работы во время сепарирования.

Количество полученного на коллекторе радиоактивного препарата определялось по следующей формуле:

$$N = N_0 \eta \exp(-\lambda t),$$

где:  $N_0$  - количество ядер определенного изотопа криптона на конец облучения,  $N$  - количество ядер этого же изотопа криптона после сепарации,  $\eta$  - коэффициент эффективности сепарирования,  $\lambda$  - его постоянная радиоактивного распада,  $t$  - время. Величина  $t$  в вышеуказанной формуле включает

в себя время: транспортировки ловушки из зала синхроциклотрона к масс-сепаратору, десорбции криптона из активированного угля, его транспортировки в ионный источник, пребывания в разрядной камере и прохождения ионов через масс-сепаратор, а также время переноса сепарированных изотопов к детектору.

В проведенных экспериментах все эти операции /время  $t$ / занимали 5-7 мин. Эффективность сепарирования  $\eta$  радиоактивных изотопов криптона определялась как отношение интенсивности гамма-линий разделенного изотопа к интенсивности этих же самых линий в спектре смеси изотопов. Среднее значение коэффициента эффективности сепарации в наших опытах составляло 5%.

Радиохимический выход, величина времени сепарации и ее эффективность  $\eta$  позволили получать источники короткоживущих изотопов криптона с минимальным временем жизни  $\sim 1$  мин.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить руководителя ОЯС и РХ ЛЯП доктора К.Я.Громова за проявленный им интерес к работе, В.И.Соболева и А.Т.Маркова за техническую помощь при подготовке аппаратуры, а также Л.Черны за участие в обработке результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. P.Alexander, J.P.Lau, A.V.Sahagian. *Nucl. Instr. and Meth.*, 64, 323-327 (1968).
2. В.И.Кузин, В.Д.Нефедов, И.А.Торопова, В.А.Халкин, П.Гроз, Ю.В.Норсеев. *Радиохимия*, 12, №1, 137 /1970/.
3. K.Fritze, R.Robertson. *Radiochim. Acta.*, 9, 221-222 (1968).
4. S.J.Lyle, J.Sellars. *Radiochim. Acta.*, 10, 160-164 (1968).
5. Н.А.Головков, Р.Б.Иванов, А.Колачковский, Ю.В.Норсеев, В.Г.Чумин. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 35, № 11, 2272-2280 /1971/.
6. A.Kjelberg, G.Rudstam. *Report CERN 70-3, Geneva* (1970).
7. R.Brandt. *Radiochim. Acta.*, 16, 148-155 (1971).
8. *Electromagnetic Isotope Separators and their Applications. NUcl. Instr. and Meth.*, 38, (1965).
9. Г.Музиоль, В.И.Райко, Х.Тыррофф. *Препринт ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.*
10. А.Пиотровски, В.И.Райко, Х.Тыррофф. *Препринт ОИЯИ, Р13-5369, Дубна, 1970.*
11. А.Пиотровски, В.И.Райко, Х.Тыррофф. *Препринт ОИЯИ, Р13-6014, Дубна, 1971.*

Рукопись поступила в издательский отдел  
20 февраля 1973 года.