

3-177

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



6 - 3596

Н.Г.Зайцева

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

БЫСТРЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ
РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

(Обзор)

1967.

6 - 3596

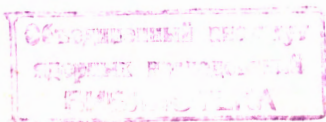
Н.Г.Зайцева

5531/3 нр

БЫСТРЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ
РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

(Обзор)*

* Доклад на X-ом совещании по ядерной спектроскопии и теории ядра
в Дубне, 27-30 июня 1967 г.



Как показывает все увеличивающееся число работ, выходящих из печати, интерес к изучению короткоживущих изотопов неуклонно возрастает. Этому активно способствует создание новой измерительной техники, в частности, появление новых полупроводниковых детекторов.

Первые обзорные работы о быстрых радиохимических методах, разработанных для селективного извлечения элементов из более или менее сложных смесей продуктов ядерных реакций, появились в начале 60-х годов^{/1-3/}. Настоящий обзор включает информацию о работах, появившихся в этой области за последние четыре года (с 1964 г. по июнь 1967 г.).

Можно сказать, что принципы быстрых методов остались прежними, а именно, осуществление экспрессного выделения радиоактивных элементов включает в себя решение следующих вопросов:

- 1) выбор облучаемого соединения;
- 2) конструкция мишени и специальных устройств для быстрой доставки препарата из зоны облучения в лабораторию;
- 3) выбор химического метода, селективного для данного элемента;
- 4) создание химической аппаратуры для быстрого проведения процесса разделения;
- 5) создание измерительной аппаратуры для быстрых измерений активности препаратов.

В последнее время в связи с осуществлением проекта установки масс-сепаратора, работающего в системе "on - line"^{/4/}, для исследования ядер, расположенных вдали от линии стабильности, а это, как правило, очень короткоживущие ядра с $T_{1/2}$ порядка долей секунды или несколько секунд, получают развитие некоторые физико-химические методы, позволяющие очень быстро и преимущ-

шественно в одну стадию извлекать необходимые элементы. Наиболее благоприятными для этой цели будут методы разделения, протекающие в газовой фазе и основанные на различии физических и химических свойств паров элементов и их соединений.

О проблемах быстрой химии в проекте масс-сепаратора, работающего "on-line" с пучком синхротрона, было сделано сообщение на совещании, посвященном обсуждению перспектив установки масс-сепаратора на пучке синхротрона Лаборатории ядерных проблем^{/5/}. В настоящей же работе рассматриваются методы, разработанные для изучения короткоживущих изотопов без предварительного разделения по массам.

Как указывалось выше, успех дела зависит от того, как свести до минимума время, затрачиваемое на те операции, которые предшествуют физическим измерениям. Это время складывается из 1) времени доставки облученного препарата к месту химического извлечения его; 2) времени, затрачиваемого на химическое выделение; 3) времени доставки готового препарата к измерительной аппаратуре. Конкретное решение в каждом отдельном случае зависит от поставленной задачи. Очень важно, чтобы весь процесс от доставки облученной мишени до измерения готового препарата проводился непрерывно и автоматически. Устройство, отвечающее этим требованиям, описано в работе^{/8/}. Специальная ячейка для облучения (рис. 1), содержащая раствор или твердую соль, после короткого, как правило, времени облучения доставляется пневмосистемой из зоны облучения в лабораторию по специальному трубопроводу. Ячейка достигает определенного места, в котором расположены тормозящее устройство (рис. 2) и устройство для извлечения облученного вещества. Если облучается раствор, то это приспособление состоит из двух гиподермических игл (рис. 3), которые проникают внутрь ячейки через ее тонкие диафрагмы. Через одну из игл подается сжатый воздух (или N_2) для выдавливания облученного раствора и, если нужно, затем подается промывной раствор, и через вторую иглу облученный раствор поступает в реакционный сосуд (рис. 4).

Если облучается твердая соль, то для извлечения ее из ячейки применяется специальный трубчатый нож, а сама твердая соль готовится в виде сформированной капсулы, которая через этот нож поступает в реакционный сосуд^{/7/}.

Такое устройство широко использовалось при изучении короткоживущих продуктов деления (Sa , Sb , In , I , As , Ge , Ag , Mo). Система переноса

позволяла за ≈ 1 сек доставить ячейку от реактора или ускорителя, и за 2 сек перенести облученный раствор или соль из транспортирующего контейнера в реакционный сосуд, и, таким образом, начать химическое разделение через 3 секунды после конца облучения.

Другой важный вклад в сокращение времени, затрачиваемого в опыте, дает разработка соответствующей химической аппаратуры, в которой осуществляется сам химический процесс выделения и очистки элементов. В литературе встречается описание некоторых устройств для этой цели.

Хорошо известно, что широко распространенным химическим методом извлечения и очистки радиоактивных элементов является метод экстракции. При использовании этого метода для выделения короткоживущих изотопов очень важно провести процесс быстро. Время, необходимое для проведения экстракции, складывается из интервалов времени, затрачиваемого на смешивание фаз до установления равновесия, разделение фаз и перевод фаз в следующий реакционный сосуд или ячейку для измерения.

В работе^{/8/} описывается несколько типов аппаратов для экстракционного разделения за 10–20 секунд, после чего одна фаза совершенно не содержит другой.

Принцип устройства этих моделей экстракторов основан на различном действии гравитационной силы на разные по плотности жидкие фазы. Конструкция экстракторов предусматривает, чтобы это действие происходило как в центрифуге. Одним из важных узлов в экстракторе является вентиль, через который переносятся фазы из сосуда смешивания в другие сосуды, при этом они полностью разделяются.

Широко используемым методом быстрого извлечения и очистки радиоактивных элементов является и метод осаждения. В этом случае также важно иметь устройство, позволяющее быстро отделить осадок от раствора. Такое устройство было описано в работе^{/9/}, посвященной осаждению Sn и других элементов спиртовым раствором пиридина, в то время как In остается в растворе.

Устройство (рис. 5), в котором происходил процесс осаждения и разделения осадка и раствора, состояло из реакционной камеры, соединенной с одной стороны с системой быстрой доставки ячейки с облученным раствором и быстрого переноса раствора в реакционный сосуд; с другой стороны, этот сосуд был соединен с камерой фильтрации. И в той, и в другой камере имелись соответствующие подводы для вакуума, осаждающего реагента, сжатого газа. Такая конструкция позво-

ляла примерно за 10 секунд осуществлять разделение осадка и раствора и соответственно получать чистый Ia в растворе, активность которого могла сразу измеряться.

Одним из интересных примеров методического решения быстрого извлечения продуктов ядерной реакции является работа ^{17/}. Она посвящена быстрому радиохимическому методу выделения радиоактивного йода из продуктов деления с целью изучения выходов деления и характеристик излучения короткоживущих изотопов йода. Необходимыми требованиями для такого быстрого метода были:

1) возможность точного измерения времени от конца облучения до момента выделения йода,

2) быстрый сбор радиоактивного йода после его отделения для последующего улавливания продуктов распада короткоживущего йода;

3) хорошая очистка йода от других продуктов деления, особенно от предшествующих (Sa , Sb и Te) и последующих продуктов деления (Xe , Cs и Ba) с сохранением большого выхода;

4) быстрый изотопный обмен радиоактивного йода с носителем перед разделением.

В предлагаемом методе использовалась неводная система. В одной быстрой стадии носитель йода и радиоактивный йод превращались в газообразный йод, который легко отделялся от других элементов, собирался, и измерялась его радиоактивность.

Мишенью служила перекись U , которая растворялась в расплаве $HI O_4$ (1:14). Нагретый на масляной бане ($t = 135^\circ C$) сплав охлаждался, измельчался в сухом боксе. 600 мг этого порошка смешивались с 90 мг активированного угля и смесь помещалась в графитовую капсулу для облучения. Для транспортировки ячейки с графитовой капсулой использовалась пневматическая система, а для извлечения облученного материала – нож, позволяющий разрушить капсулу и попасть облученному материалу в реакционный сосуд, который нагревался до $130^\circ C$. Йод при такой температуре возгонялся, проходя через стеклянный фильтр для очистки от захваченных твердых частиц, и затем поступал в колонку, заполненную стеклянными шариками, смоченными CCl_4 . Шарика орошались раствором CCl_4 , улавливающим йод. Раствор стекал в подготовленный сосуд, после чего измерялась активность йода и определялся химический выход. Для еще более быстрого переноса йода к измерительной аппаратуре использова-

лась система нагретого тефлонового трубопровода, по которому газообразный йод после очистки на стеклянном фильтре поступал в сосуд, где он конденсировался с помощью гамма-детектора, расположенного в непосредственной близости от этого сосуда. С применением такого устройства йод переносился от реакционного сосуда до камеры, где он конденсировался и измерялся, за 3 сек (расстояние было 5 метров). Сама реакция возгонки йода в реакционном сосуде заканчивалась через 4 сек после конца облучения. Таким образом, для получения радиоактивного препарата йода затрачивалось менее 10 сек.

Другим интересным примером быстрого выделения продуктов деления служит выделение Sb , Sa , As , Ge в виде летучих гидридов, которые образуются при восстановлении этих элементов водородом в момент его образования. Гидриды выдуваются из раствора N_2 или He , и разделение по элементам происходит в процессе разрушения гидридов при различных температурах: SbH_3 полностью разрушается при $480^\circ C$, AsH_3 при 950° , а гидриды Sn и Ge - в интервале $480^\circ < t < 950^\circ$. В соответствующих участках трубки образуется металлическое зеркало, которое или смывается подходящей кислотой, или в этом месте располагается детектор излучения. Фактор очистки довольно высок.

Образование гидридов возможно при использовании системы $Zn - H_2SO_4$ или за счёт водорода, возникающего при электролитическом разложении HCl .

В предварительном исследовании^{/10/} было показано, что скорость электролитического образования стибина SIH_3 прямо пропорциональна току и не зависит от температуры, площади электрода, скорости перемешивания. Следовательно, можно получить очень высокий выход гидрида за короткое время при высоком токе. На рис. 6 показан реакционный сосуд, который одновременно служил и ячейкой для облучения^{/11/}. Оба отделения ячейки, разделенные пористой диафрагмой, содержали HCl , и в катодном отделении содержался также носитель исследуемого элемента. До электролиза ячейка продувалась чистым He для удаления следов воздуха, а во время электролиза для удаления гидридов. При электролизе скорость $He \approx 250$ мл/мин. Выдуваемые гидриды затем разрушались, проходя через печь, и металл конденсировался на холодных частях кремниевой трубки. Этот метод давал 45%-ый выход в течение 10 сек. Он был использован при изучении гамма-излучения ^{185}Sb ($T_{1/2}=2$ сек) и $^{85-87}As$ ($T_{1/2}=2$ сек)^{/12/}. На рис. 7 представлена схема этого опыта.

Как упоминалось выше, для получения гидридов Sb, As, Ge применялся также и другой способ получения водорода, а именно система $Zn - H_2SO_4$ /13,14/. Для увеличения выхода гидрида сосуд с гранулированным Zn нагревался до 100°C, и для 70–80%-го выхода гидридов требовалось около 10 сек.

На рис. 8 представлена схема опыта по изучению предшественников запаздывающих нейтронов As, Sb и Ge /15/. Были изучены изотопы ^{87}As ($T_{1/2} \leq 1,5$ сек) и ^{85}As ($T_{1/2} = 2,15$ сек). Интервал времени выделения был уменьшен до 1 сек.

Интересным оказалось применение метода экстракции для быстрого выделения короткоживущих изотопов Xe из продуктов деления урана. В последнее время развитие химии благородных газов показывает, что к ним уже неприменимо понятие "инертные". Было установлено, что тяжелые благородные газы имеют относительно высокую растворимость в органических растворителях. По теории неэлектролитов растворимость газа в растворе имеет тенденцию к максимуму, когда его параметр растворимости δ достигает δ растворителя. По этой теории ожидалась довольно значительная растворимость благородного газа в CCl_4 , т.к. рассчитанные значения δ_{Xe} при его точке кипения и δ_{CCl_4} равны соответственно 8,4 и 8,6. Этот метод экстракционного извлечения изотопов $^{133}, ^{135}Xe$ и ^{135}Xe в CCl_4 из водных растворов, содержащих родительские изотопы ^{133}I и ^{135}I /50/4, был использован для изучения схем распада короткоживущих изотопов ^{137}Xe ($T_{1/2} = 3,9$ мин) и ^{138}Xe ($T_{1/2} = 17$ мин) /17/. В одну химическую стадию происходило отделение Xe от продуктов деления и его очистка. Извлечение Xe при однократной экстракции составляло $\approx 20\%$ и на всю операцию затрачивалось 3 мин. Измерялась активность органической фазы, на поверхность которой для предотвращения потерь Xe в процессе измерения была налита вода.

Следует отметить, что при исследовании короткоживущих изотопов, изучении их гамма-спектров большое значение имеют препараты, не содержащие дочерних продуктов. Поэтому, по возможности, выбранный химический метод должен предусматривать одновременно очистку изучаемого элемента от дочерних элементов, особенно в тех случаях, когда дочерние изотопы также имеют короткий период полураспада. В работе /20/ была предусмотрена такая непрерывная очистка в процессе измерения гамма-излучения изотопов ^{145}Ce ($T_{1/2} = 3,1$ мин), ^{146}Ce ($T_{1/2} = 13,9$ мин) и ^{147}Ce ($T_{1/2} = 65$ сек) от накапливающихся дочерних про-

дуктов - короткоживущих изотопов Rg. Использовалась экстракционная хроматография. Изотопы Ce выделялись из облученного U, раствор которого 11 M по HNO_3 и содержащий NaBrO_3 , заливался в колонку, заполненную политрифторхлорэтиленом с нанесенной на него ди (2-этилгексил)- ортофосфорной кислотой (НДЕНР), и пропускался с большой скоростью, после чего колонка отмывалась непрерывно или периодически, в зависимости от требования, 6M HNO_3 . В этих условиях Ce сорбировался на колонке. Для быстроты фильтрации раствора Ce через колонку применялся отсос, но даже при очень большой скорости фильтрации раствора Ce прочно удерживался на колонке в течение многих часов. Изменялась активность Ce, сорбированного на колонке. Время приготовления такого источника 5,5 мин.

Другой пример изучения препарата без дочерних изотопов - работа, посвященная изучению распада ^{89}Kr ($T_{1/2} = 3,2$ мин)¹²⁷. В качестве мишени использовался ^{233}U (0,5 г), нанесенный на Zr(OH)_4 . Время облучения было 4 сек и время выдержки мишени - 4 мин, это позволило освободиться от ^{91}Kr ($T_{1/2} = 9$ сек) и ^{90}Kr ($T_{1/2} = 33$ сек). Основное загрязнение ожидалось от дочернего ^{89}Rb ($T_{1/2} = 15$ мин). Kr очищался при пропускании газового потока через U-образную трубку с активированным углем, и после этого газ попадал в ячейку для измерения (рис. 9). Одновременно в ячейку подавалась вода через трубку с малым диаметром. Вода образовывала тонкую пленку на внутренней поверхности камеры и непрерывно вымывала при этом Rb в момент его образования из Kr. Эффективность удаления Rb зависела от величины поверхности камеры, покрытой водой. В этих опытах Rb удалялся количественно ($\approx 99\%$), так что при изучении гамма-спектров и γ - γ - совпадений с NaJ - кристаллом активность ^{89}Rb не детектировалась. В тех случаях, когда использовался Ge - детектор, Kr сорбировался на АУ в U - образной трубке и дочерний Rb не удалялся, поскольку Ge - детектор имел высокое разрешение, и хорошо изученные интенсивные гамма-линии от ^{89}Rb служили реперами.

Для изучения бета-распада и β - γ - совпадений радиоактивный Kr переносился из U - образной трубки в цилиндрическую камеру с майларовым окном ($0,9 \text{ мг/см}^2$), и дочерний Rb непрерывно удалялся из камеры, оседая на заряженной проволоке, которая перемещалась вдоль оси камеры.

В таблице 1 приведены известные примеры применения разнообразных химических методов, используемых для выделения короткоживущих изотопов из смесей

продуктов ядерных реакций. Среди этих методов широко используется экстракция /16-20/, осаждение /21-23,9/, методы, основанные на летучести элементов или их соединений /7,11,13-15,19,24-28/, ионный и изотопный обмен /29-37/, некоторые электрохимические методы /38/, метод отдачи /39-41/, восстановление на металлической поверхности /4-49,58/.

Л и т е р а т у р а

1. F.Strassman. Z.Electrochem., 64, 1011, 1960.
2. Y.Kusaka, W.W.Meinke. Rapid Radiochemical Separations. NAS, NS-3104, 1961.
3. Н.Г.Зайцева. Сб. "Радиохимические методы определения микроэлементов", стр. 16-43, М.-Л, Изд. "Наука", 1965 г.
4. G.Rudstam. Nucl.Instr.Meth., 38, 282, 1965.
5. Н.Г.Зайцева. Доклад на совещании по обсуждению перспектив установки масс-сепаратора "он-лайн" на пучке синхротрона ЛЯП, 23-25 мая 1967 г. Дубна.
6. A.E.Greendale, D.L.Love. Nucl.Instr.Meth., 23, 209, 1963.
7. A.E.Greendale, D.L.Love, A.A.Delucchi. Anal.Chim.Acta, 34, 32, 1966.
8. L.Koch, H.Münzel, H.Thoma. Radiochim. Acta. 2, 33, 1963.
9. D.Sam, D.L.Love, Anal.Chim.Acta, 35, 154, 1966.
10. L.Thomlinson, J.Electrochem. Soc. III, 592, 1964.
11. L.Tomlinson. Anal.Chim.Acta, 31, 545, 1964, *ibid.* 32, 157, 1965.
12. L.Tomlinson. J.Inorg. Nucl.Chem., 28, 287, 1966.
13. A.E.Greendale, D.L.Love, Anal.Chem., 35, 632, 1963.
14. A.E.Greendale, D.L.Love. Anal.Chem., 35, 1712, 1963.
15. P. del Marmol, M.Neve de Meverghies. J.Inorg. Nucl. Chem., 29, 273, 1967.
16. P.Kauranen. J.Inorg. Nucl. Chem., 27, 1713, 1965.
17. H.Hamaguchi, N.Onuma, K.Tomura, R.Kuroda. J.Inorg.Nucl.Chem., 28, 1501, 1966.
18. J.R.Stokeley, F.L.Moore. Anal.Chem., 36, 1203, 1964.
19. M.H.Campbell. Anal.Chem., 36, 2065, 1964.
20. O.B.Michelsen, D.C.Hoffman. Radiochim. Acta, 6, 165, 1966.
21. B.Parsa, G.G.Gordon. Phys.Lett., 23, 269, 1966.
22. J.M.D. 'Auria, I.L.Preiss. Nucl.Phys., 84, 37, 1966.
23. D.G.Vallis, J.L.Perkins, J.Inorg.Nucl.Chem., 22, 1, 1961.
24. J.A.Cooper, R.C.Gatti, J.O.Rasmussen, S.G.Thompson. J.Inorg.Nucl.Chem., 26, 2041, 1964.

25. H.V.Weiss, N.E.Ballon. *J.Inorg.Nucl.Chem.*, 27, 1917, 1965.
26. В.И.Шапов, О.И.Косгочкин, К.А.Петржак, П.М.Арон. *Радиохимия* 7, 96, 1965.
27. J.E.Kitching, M.W.Johns. *Nucl.Phys.*, A98, 337, 1967.
28. R.H.Goodman, J.E.Kitching, M.W.Johns. *Nucl.Phys.*, 54, 1, 1964.
29. H.Bakhru, S.K.Mukherjee. *Nucl.Phys.*, 61, 56, 1965.
30. H.J.Fiedler, N.P.Archer. *Z.Anal.Chem.*, 226, 114, 1967.
31. I.H.Qureshi, M.Shabir. *Talanta* 13, 847, 1966.
32. R.S.Raj, D.R.Nethaway, A.P.Wahl. *Radiochim. Acta*, 5, 30, 1966.
33. W.D.Fairman, J.Sedlet. *Anal.Chem.*, 38, 1171, 1966.
34. J.Bastian, K.H.Lieser. *Radiochim. Acta*, 6, 216, 1966.
35. A.Abrao, *J.Chem.Educ.*, 41, 600, 1964.
36. A.T.Rane, K.S.Bhatki. *Anal.Chem.*, 38, 1598, 1966.
37. D.Monnier, E.Loeper. *Anal. Chim. Acta*, 37, 339, 1967.
38. G. de Vries, G.P.Schütz, E. van Dalen. *J.Chromat.*, 13, 119, 1964.
39. H.V.Weiss. *Trans. Amer.Nucl.Soc.*, 7, 334, 1964.
40. T.Sikkeland, A.Ghiorso. *Phys. Lett.*, 24B, 331, 1967.
41. P.R.Fields, R.F.Barnes, R.K.Sjoblom, J.Milsted. *Phys. Lett.*, 24B, 340, 1967.
42. I.H.Qureshi, F.I.Nagi. *Talanta*, 14, 323, 1967.
43. R.B.Hahu, G.M.Kanapilly. *Talanta*, 14, 129, 1967.
44. I.H.Qureshi, W.W.Meinke. *Talanta* 10, 734, 1963.
45. I.H.Qureshi, W.W.Meinke. *Radiochim. Acta*, 2, 99, 1963.
46. F.E.Orbe, I.H.Qureshi, W.W.Meinke. *Anal.Chem.*, 35, 1436, 1963.
47. H.V.Weiss, W.L.Reichert. *J.Inorg.Nucl.Chem.*, 28, 2067, 1966.
48. H.V.Weiss, W.L.Reichert. *Anal.Chim. Acta.*, 34, 119, 1966.
49. C.Brun, M.Lefort. *J.Inorg. Nucl. Chem.*, 26, 1633, 1964.
50. H.Hamaguchi, N.Onuma, K.Tomura, R.Kuroda. *Nature*, 205, 279, 1965.
51. J.Pauly. *Comp.Rend.*, 240, 2415, 1955.
52. S.Amiel, B.Robinson, IA-775, 100, 1962.
53. D.G.Kaiser, W.W.Meinke, *Anal.Chim. Acta*, 29, 21, 1963.
54. Е.А.Жеребин, А.И.Крылов, В.И.Поликарпов, Н.Н.Юзвух. *Ядерная физика*, 5, 3, 1967 г.
55. G.P.Tercho, J.A.Marinisky. *J.Inorg.Nucl.Chem.*, 26, 1129, 1964.
56. T.V.Pierce, P.F.Peck. *Analyst.*, 88, 603, 1963.
57. S.Byrnholm, O.B.Nielsen, *Nucl.Phys.*, 42, 642, 1963.
58. H.P.Malan, H.Munzel. *Radiochim. Acta*, 5, 20, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 ноября 1967 года.

Таблица примеров использования радиохимических методов
для выделения короткоживущих изотопов

Изотоп $T_{1/2}$		Реакция получения	Мишень	Метод выделения	Краткое описание метода	Время выделения	Ссылка
1	2	3	4	5	6	7	8
$^{80}_{15}\text{P}$	2,5 мин	$^{81}\text{P}(\gamma, n)^{80}\text{P}$	Суспензия красного фосфора	Сбор ядер отдачи	Суспензия красного фосфора в тетралине облучалась на бетатроне. Раствор фильтровался, 20% ^{80}P отделялось при этом. Выход изотопа зависел от энергии фотонов.		51
$^{40}_{17}\text{Cl}$	1,4 мин	$^{40}\text{Ar}(n, p)^{40}\text{Cl}$	Ag - газ	Поглощение газообразных продуктов реакции.	Облученный Ag перекачивался в ловушку, в которой газообразный Cl поглощался влажными таблетками KOH. Ag не поглощался и поступал в другой сосуд.		52
$^{46}_{19}\text{K}$	115 Сек	$^{46}\text{Ca}(d, \alpha)^{46}\text{K}$	CaCO_3	Осаждение	Мишень растворялась в царской водке, содержащей носители K, Se. Из раствора осаждался K_2PtCl_6 .	3 мин	21
$^{52}_{28}\text{V}$	3,8 мин	$\text{V}(n, \gamma)$	Активационный анализ тканей	Экстракция	Образец сплаивался, плав растворялся и V экстрагировался купфером в HClO_4 .	5 мин	53

1	2	3	4	5	6	7	8
⁸⁵ ₃₃ As	2,1 сек	²⁸⁵ U(f)	Раствор соли U	Возгонка гидридов	Сервокислый раствор U, содержащий носители Sb и As, после облучения поступал в сосуд с Zn. Sb и As образовывали гидриды при восстановлении водородом в момент его образования. Гидриды продувались He через доушки и разрушались: SbH ₃ при 480°C, AsH ₃ при 950°C. Измерение активности проводилось в месте конденсации металлического зеркала.	1 сек	15
⁸⁷ As	≤ 1,5 сек						
⁸⁶ ₃₅ Br	54 сек	U(f)	Соль UO ₂ (NO ₃) ₂	Удаление газообразного Br ₂ током воздуха	Мишень растворялась в горячей 6NH ₂ SO ₄ , содержащей носители Br ⁻ и BrO ₃ ⁻ . Газообразный бром отгонялся током воздуха в поглощающий раствор соли Мора, и восстановившийся бром осаждался как Ag Br. Разработана аппаратура для непрерывного химического выделения.	3,5-4 мин	28
⁸⁷ Br	56 сек						
⁸⁸ Br	18 сек	U(f)	Раствор UO ₂ (NO ₃) ₂	" - "	Через раствор соли урана, содержащий 1M HNO ₃ и 0,5M KBrO ₃ , продувался воздух для удаления газообразного брома. Радиоактивный бром поступал по трубопроводу в регистрирующую установку.	5-7 сек	28
⁸⁹ Br	4,3 сек						
⁸⁹ ₃₈ Kr	3,2 мин	²⁸⁵ U(f)	²⁸⁵ U, нанесенный на Zr(OH) ₄	Газовая хроматография	Kr выдувался He из облученной мишени, сорбировался на AU, а для измерения переносился с He в специальную ячейку для измерения, устройство которой позволяло удалять дочерний ⁹⁰ Rb.		27
⁹⁰ Kr	33 сек	U(f)	Стеарат U	Газовая хроматография	Kr (и Xe) выдувались из мишени током He, пропускаясь через колонку. Xe поглощался, а Kr попадал в счётную камеру.		28

1	2	3	4	5	6	7	8
$^{90}_{87}\text{Rb}$	2,9 мин	$U(t)$		Сорбция на тканевой поверхности	Rb выдувался из раствора газом-носителем, вместе с Cs он осаждался на специальном тканевом фильтре, который измерялся.	3-4 мин	54
$^{90}_{88}\text{Sr}$	8,3 мин	$^{90}\text{Zr}(a, \alpha)$ ^{90}Sr	Порошок Zr	Изотопный обмен	Zr - порошок после облучения растворялся в HF с добавкой NH_4F и носителя Y . Раствор встряхивался с тонкоизмельченным порошком SrSO_4 , который затем центрифугировался, промывался, и измерялась его активность.		29
$^{90}_{89}\text{Y}$	2,3 мин	$^{90}\text{Zr}(a, p)$ ^{90}Y	Раствор $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2$	Осаждение	Раствор облученного Zr переносился автоматически в центрифужную пробирку в специальном аппарате. Пробирка содержала носители Sr и Y . При сильном перемешивании добавлялся раствор NH_4F и осаждался YF_3 . Осадок отделялся центрифугированием. Разделение фаз проводилось автоматически и измерялась активность осадка.	1 мин	23
$^{115}_{46}\text{Pd}$	40,5 сек	$U(t)$	Раствор соли U	Сорбция на поверхности металла за счёт восстановления	Облученный раствор, содержащий носители Ra , Rh , Ag , Rd , конц. $\text{HBr}-\text{Br}_2$, переносился в пробирку, содержащую горячую конц. HBr , и раствор фильтровался через Zr Ca - порошка в специальном аппарате. Pd в этих условиях отделялся селективно.		47

1	2	3	4	5	6	7	8
$^{108}_{47}\text{Ag}$	2,3 мин	Активационный анализ образцов		Экстракция	Образец растворялся в разбавленной HNO_3 (1:1), содержащей носитель Ag . Загрязнения отделялись на гидроокиси, фильтрат делался 0,5N по H_2SO_4 . Добавлялся $\text{NH}_4\text{OH} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ и Ag экстрагировалось раствором дитизона в CCl_4 . Измерялась активность органической фазы.	8,5 мин	56
$^{121}_{47}\text{Ag}$	несколько секунд	$U(t)$	Раствор ^{235}U в HNO_3	Сорбция на поверхности металла за счёт восстановления	Облученный раствор переносился в пробирку, содержащую 4M HNO_3 , и раствор пропускался через Ca - порошок, на поверхности которого сорбировалось серебро.	3-60 сек	48
$^{121}_{48}\text{Cd}$	11 сек	$U(t)$	Раствор соли	Отделение Cd основано на растворимости аммиачного комплекса Cd и нерастворимости гидроокисей и оксалатов In и Sn	Облученный раствор вливался в раствор $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$, осадок отфильтровывался через тонкий слой глины. Фильтрат содержал Cd , выход 40-45%.	3-45 сек	39
$^{121}_{49}\text{In}$	3,1 мин	$U(t)$	Раствор U	Сублимация	Облученный раствор переносился в реакционный сосуд, в котором содержались Sn , этиловый спирт, ацетилацетон. Осадок ацетилацетоната In фильтровался и сублимировался при 425°C . Выход около 25%.	30 сек	25

1	2	3	4	5	6	7	8
$^{127}_{50}\text{Sb}$	2,5 мин	^{130}Te (н.д.) $^{127}_{50}\text{Sb}$	Te мет	Экстракция	Мишень растворялась в 3N HCl, содержащей носитель Sb и V_2 в качестве окислителя. После охлаждения раствора в лед добавлялся NH_4CNS и Sb экстрагировалось диэтиловым эфиром. Органическая фаза промывалась и измерялась ее активность.	5 мин	16
$^{136}_{53}\text{I}$	86 сек	$\text{U}(f)$	Соль $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	Удаление газообразного I_2 током воздуха	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ растворялся в горячем растворе, содержащем Fe^{3+} , Fe^{2+} , H_2SO_4 , KBr . В раствор вводились KIO_3 и KI , выделившийся йод отгонялся струей воздуха в поглощающий раствор, содержащий Na_2SO_3 и H_2SO_4 с помощью AgNO_3 осаждался AgI .	3,5-4 мин	26
^{187}I	24 сек				Из облученного раствора йод и благородные газы отгонялись струей воздуха с парами йоданосителя в регистрирующее устройство через сосуд, содержащий кристаллический йод в нагретом состоянии.	5-7 сек	26
^{138}I	6,3 сек		Раствор UO_2SO_4	— — —			
$^{137}_{54}\text{Xe}$	3,9 мин	$\text{U}(f)$	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	Экстракция	Облученный раствор урана переносился в делительную воронку, содержащую CCl_4 , носитель йода, NaBrO_3 . Экстракция проводилась 1 мин, и органическая фаза переносилась в другую воронку, где промывалась H_2O , содержащей 1 M NaHSO_3 . Измерялась активность органической фазы.	3 мин	17

10

1	2	3	4	5	6	7	8
$^{123}_{55}\text{Cs}$	5,6 мин	^{116}In (^{14}N , ^{63}Ni) $^{123}_{55}\text{Cs}$	In - фольга	Осаждение	In - фольга после облучения растворялась в $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ (2:1), в раствор добавлялся носитель Ba и осаждался $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ дымящей HNO_3 . Осадок центрифугировался, растворялся в H_2O , добавлялся носитель Cs и осаждался Cs_2PtCl_6 .	3:5 мин	22
^{139}Cs	9,5 мин				В облученный раствор добавлялся носитель Rb и затем раствор пропускался через осадок $\text{Cs}-\text{F}-\text{Mo}$. Осадок промывался, растворялся в конц. NaOH . Раствор разбавлялся, делался солянокислым и из него осаждался $\text{Cs}_2\text{V}_2\text{I}_9$.	< 6 мин	30
^{140}Cs	65 сек	$\text{U}(f)$	Раствор ^{238}U в HNO_3	Изотопный обмен			
^{141}Cs	24 сек						
$^{137m}_{56}\text{Ba}$	2,57 мин	$^{137m}\text{Cs} \rightarrow ^{137m}\text{Ba}$	Раствор Cs 1N по HCl	Сорбция на неорганическом сорбенте	Раствор ^{137}Cs продавливался через колонку, заполненную $\text{TiFe}(\text{CN})_6$. Cs сорбировался на колонке и ^{137m}Ba непрерывно элюировался с колонки и поступал на измерение.	1 мин	34
$^{145}_{58}\text{Ce}$	3,1 мин			Жидкостная экстракция	Мишень растворялась в 0,03 M HNO_3 и раствор встряхивался с 0,5M HDEHP в гектане. Органическая фаза промывалась с 0,03M HNO_3 и 30% H_2O_2 (1:1). Добавлялся носитель Ce^{IV} и РЗЭ экстрагировались 1M HNO_3 , содержащей 30% H_2O_2 . В водную фазу добавлялись Te^{IV} и Te^{VI} и раствор промывался 0,5M HDEHP. Водная фаза сливалась в другую делительную воронку, содержащую 2M NaBrO_3 и конц. HNO_3 . Измерялась активность Ce^{IV} в органической фазе.	3,5-4 мин	20
$^{146}_{58}\text{Ce}$	13,9 мин	$\text{U}(f)$	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	Экстракционная хроматография			
$^{147}_{58}\text{Ce}$	65 сек						
$^{148}_{58}\text{Ce}$	43 сек						

17

Если было необходимо измерять активность Sr без примеси дочерних продуктов, то раствор после стадии окисления наносился на колонку, заполненную политрифторхлорэтиленом, пропитанным НДЕНР. Sr^{IV} прочно удерживался на колонке во время промывки ее 6M HNO_3 ($NabNO_3$) для удаления дочернего Pt .

$^{202}Po_{84}$	1,7 мин	^{208}Bi (ρ, β), ^{210}Po	Ві - мет	Восстановление на металлической поверхности	Минер растворялась в HNO_3 , затем добавлялись HCl и $0,5N$ гидразин. Раствор нагревался до $80^\circ C$ и Po осаждался на Ag пластинке. Гидразин предотвращал окисление Ag при повышении температуры.	48
$^{234}Pa_{91}$	1,14 мин	^{238}U α ^{234}Th ^{234}Th β^- ^{234}Pa	У на Be -фольге	Экстракция в конный обмен	Уранилнитрат растворялся в эфире и раствор промывался H_2O . Th переходил в водную фазу, которая несколько раз промывалась эфиром.	57
$^{242}Cl_{96}$	3,4 мин	$U + ^{19}C$ $^{242}Sm + ^8He$	U на Be -фольге	Сбор ядер отдачи	Ядра отдачи улавливались газовым потоком и осаждались на Pt -диске	40,41
$^{244}Cl_{96}$	5 мин	$^{244}Sm + ^8He$	Sm на металлической подложке			

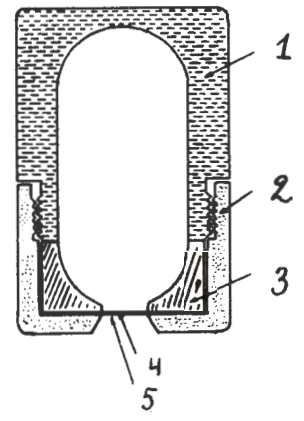


Рис. 1. Ячейка для облучения и переноса раствора к реакционному сосуду /8/.
1 - тефлоновый корпус; 2 - колпачок из нейлона; 3 - вставка из полиэтилена; 4 - диафрагма из тефлона (0,016 дюйма); 5 - резиновая прокладка (0,02 дюйма).

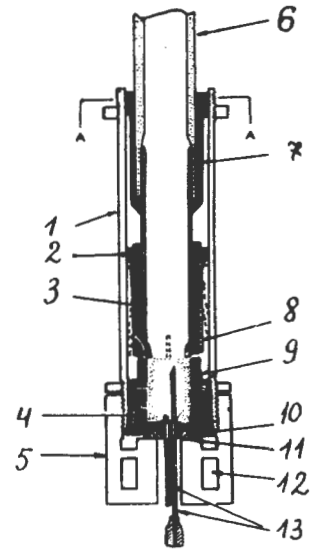


Рис. 2. Устройство для остановки движущейся облученной ячейки /8/. 1 - цилиндрическая часть; 2 - стопор; 3 - направляющее приспособление; 4 - втулка; 5 - колпачок; 6 - трубопровод, ведущий к реактору; 7 - латунная муфта; 8 - пружина; 9 - регулятор входа He ; 10 - выход He ; 11 - латунная плита; 12 - камера для He ; 13 - гиподермические иглы.

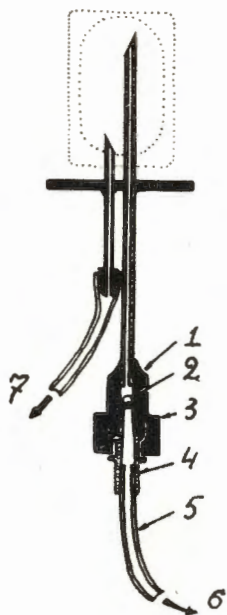


Рис. 3. Устройство для удаления облученного раствора из ячейки /6/. 1 - втулка; 2 - стеклянный шарик; 3 - муфта; 4 - адаптер; 5 - полиэтиленовый шланг; 6 - к промывному раствору; 7 - к химическому анализатору.

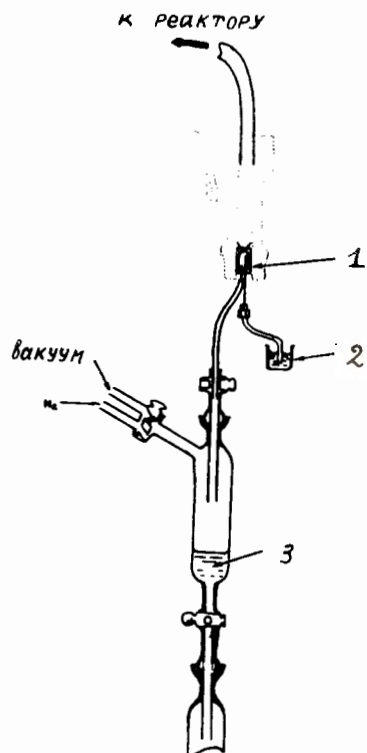


Рис. 4. Реакционный сосуд /6/. 1 - ячейка для облучения; 2 - промывной раствор; 3 - испытуемый раствор.

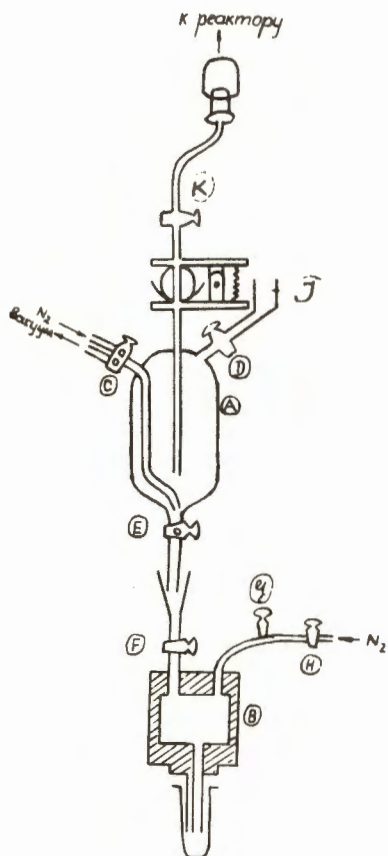


Рис. 5. Устройство для быстрого выделения радиоактивного Ia методом осаждения^{/8/}.
 А - камера осаждения; В - камера фильтрации; С, D, E, F, G, H - краны;
 I - осаждающий реагент; К - ввод облученного раствора.

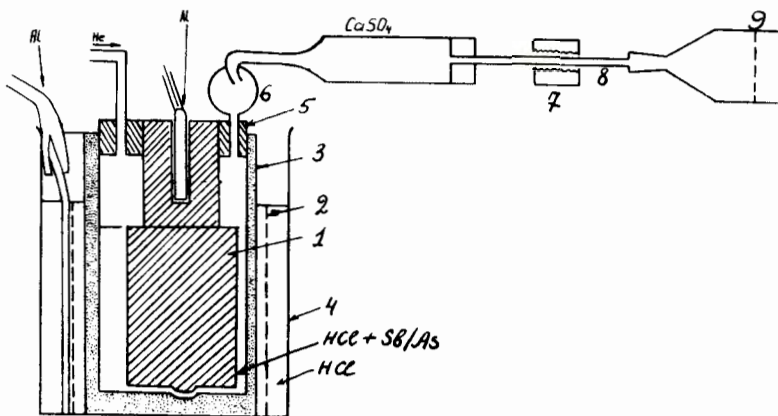


Рис. 6. Ячейка для облучения и одновременного получения летучих гидридов Sb и As при электролитическом образовании H_2 /11/. 1 - графитовый катод; 2 - Pt - анод; 3 - диафрагма; 4 - стакан; 5 - резиновая втулка; 6 - брызгоулавливатель; 7 - печь; 8 - Si-трубка; 9 - фильтр.

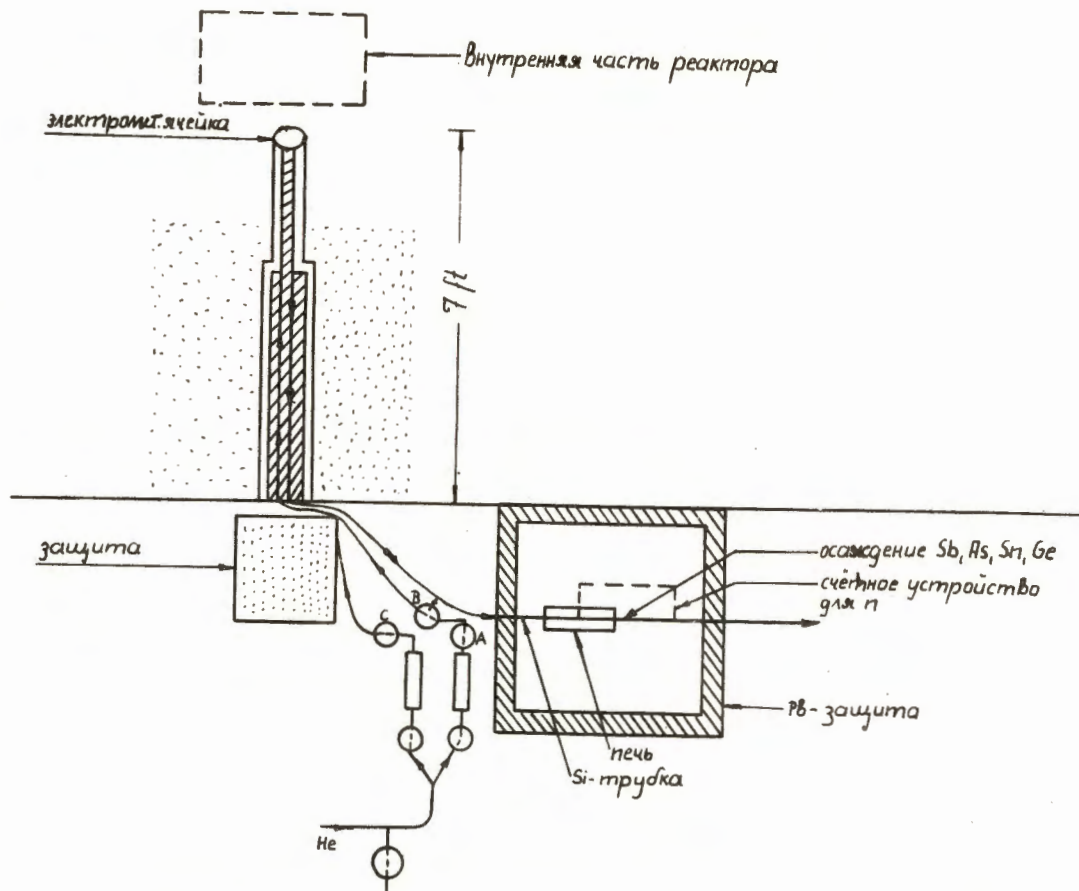


Рис. 7. Схема опыта по получению короткоживущих изотопов Sb, As, Sn, Ge (продуктов деления) ¹²⁷. А, В, С - края.

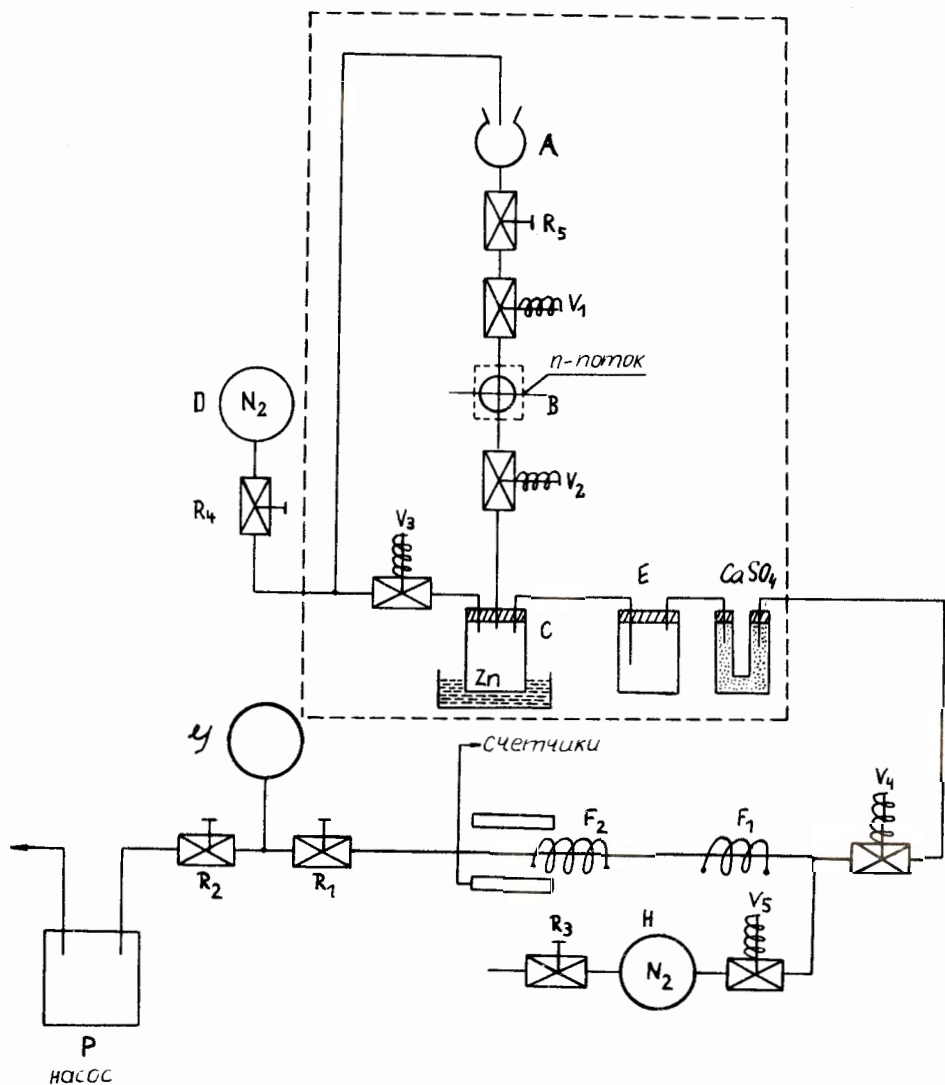


Рис. 8. Схема опыта по изучению предшественников запаздывающих нейтронов As, Sb и Ge ¹⁵⁷. А - сосуд, содержащий облучаемый раствор, В - ячейка для облучения; С - сосуд для получения гидридов; Е - брызгоулавливатель; F₁, F₂ - печи; Д, Н - баллоны с N₂; Г - буферный сосуд; R, V - краны.

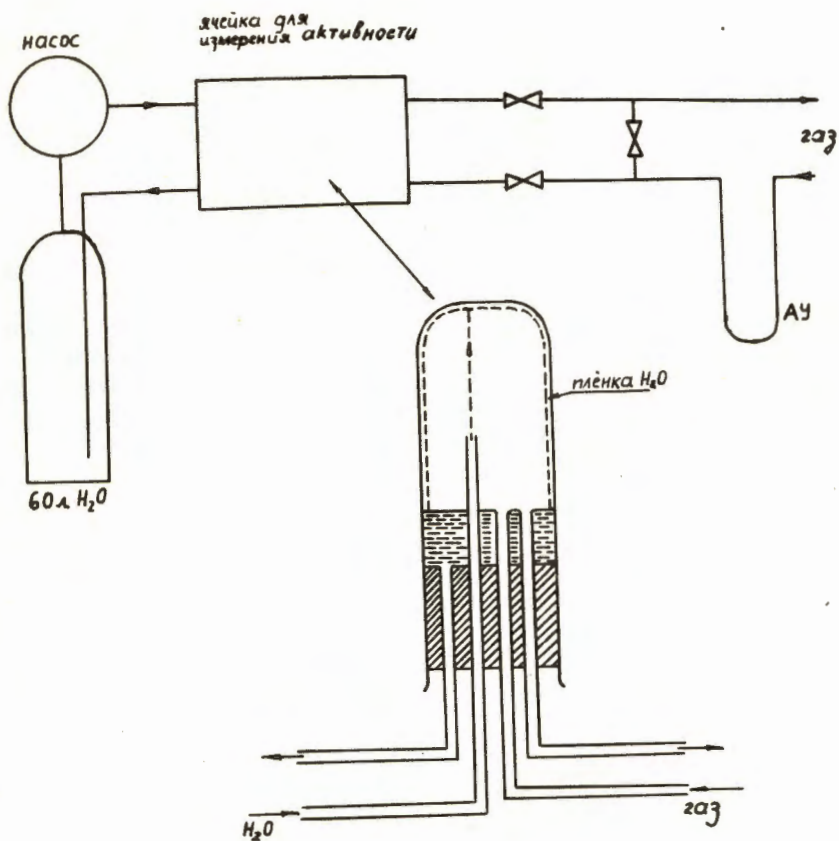


Рис. 9. Схема устройства для получения ⁸⁹Kr ($T_{1/2} = 3,2$ мин) с одновременным удалением дочернего ⁸⁹Rb ($T_{1/2} = 2,7$ мин).