



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Н.Г. Зайцева

P-1292

МЕТОДЫ БЫСТРОГО ВЫДЕЛЕНИЯ  
РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

/Обзор/

*В кн.: Радиохимические методы  
определения микроэлементов.  
М.-Л., "Наука", 1965, с 16-43.*

Н.Г. Зайцева

P-1282

1962/1 мр.

МЕТОДЫ БЫСТРОГО ВЫДЕЛЕНИЯ  
РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

/Обзор/

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

	стр
1. ВВЕДЕНИЕ.....	5
2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ: .....	5
а) вещество мишени; .....	5
б) конструкция мишени и быстрая доставка; .....	6
в) химическая аппаратура и приспособления для измерительной аппаратуры.....	6
3. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ БЫСТРОГО ВЫДЕЛЕНИЯ КРОТКОЖИВУЩИХ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ И РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА .....	7
а) Экстракция .....	7
б) Осаждение .....	8
в) Методы быстрого извлечения газообразных и летучих радиоактивных элементов .....	8
г) Ионный обмен .....	10
д) Изотопный обмен .....	11
е) Электрохимические методы .....	12
ж) Методы отдачи .....	13
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	14
5. ТАБЛИЦА ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИМЕРОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЫСТРЫХ РАДИОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ .....	15
6. Л и т е р а т у р а .....	28
7. Р и с у н к и .....	34



## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с изучением короткоживущих изотопов и с развитием быстрых методов радиоактивационного анализа радиохимии начинают уделять большое внимание экспрессным методам выделения радиоактивных элементов. В зарубежной литературе наряду с большим количеством оригинальных работ появились и обзорные сообщения, суммирующие исследования, выполненные, в основном, до 1961 года<sup>(1)</sup>.

В настоящем обзоре рассматриваются ускоренные обычные аналитические методы (например, осаждение, экстракция) и методы, специально разработанные для быстрой радиохимии (обмен на амальгаме, полярографическое восстановление на ртутном катоде, изотопный обмен на кристаллических осадках и др.), позволяющие идентифицировать радиоактивные изотопы с  $T_{1/2} \leq 10$  минут.

### 2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Осуществление экспрессного выделения радиоактивных элементов требует не только правильного выбора самого метода, но и выбора наиболее удобных, с точки зрения последующей обработки:

- а) облучаемых веществ и соединений;
- б) конструкции мишени и специальных устройств для быстрой доставки препаратов из зоны облучения в лабораторию;
- в) приборов, в которых осуществляются химические процессы, а также ряда специальных устройств для измерительной аппаратуры, необходимых для проведения быстрых измерений активности.

а) Большинство радиохимических методов - "мокрые" методы, где все операции сброса материала мишени и радиоактивных загрязнений осуществляются в растворах. Чтобы сократить время растворения, облучают хорошо растворимые соединения. Например, при изучении  $Pt^{201}$  ( $T_{1/2} = 2,3$  мин)<sup>(2)</sup> облучались хорошо растворимые соединения  $Hg(NO_3)_2 \cdot H_2O$  и  $HgO$ ; для получения  $Yb^{75}$  ( $T_{1/2} = 1,5$  мин)<sup>(3)</sup> облучался готовый раствор  $YbCl_4$  в  $CCl_4$ ; при изучении короткоживущих продуктов деления - растворы солей урана<sup>(4,5)</sup>. В ряде случаев материалом мишени служат сконденсированные газы, например, облучался  $K_2^{86}$  для получения  $Bz^{86}$  ( $T_{1/2} = 54$  сек)<sup>(6)</sup>.

Если облучаются металлы, то для быстрого растворения необходимо брать порошки и фольги с большой поверхностью на единицу веса.

Для облучения берется различное количество вещества, от нескольких миллиграммов до граммов, но естественно, чем меньше вещества, тем легче провести обработку мишени.

б) Скорость доставки мишени к месту обработки, возможность отбора образующихся радиоактивных продуктов в момент облучения в большой степени определяются конструкцией мишени. Наиболее трудной является задача создания мишени для облучения внутренним пучком частиц ускорителя или в активной зоне реактора.

В качестве примера решения таких задач можно привести две работы<sup>(7,8)</sup>. Устройство, описанное в первой работе, применялось для изучения  $K^{37}$  с  $T_{1/2} = 1,2$  сек, образующегося в реакции  $Ca^{40}(\rho, \alpha)K^{37}$ <sup>(9)</sup>. Принцип устройства состоит в соединении вакуумным трактом камеры синхротриклотрона и спектрометра. Время доставки мишени от места облучения до места измерения равнялось 0,2 сек. Схема устройства представлена на рис.1. Естественно, что для изотопа  $K^{37}$  осуществить химические операции выделения и очистки невозможно. Вторая работа была посвящена изучению  $C^{10}$  ( $T_{1/2}=20$  сек) и  $O^{14}$  ( $T_{1/2}=72$  сек). Газообразные продукты реакций  $B^{10}(\rho, n)C^{10}$  и  $N^{14}(\rho, n)O^{14}$  отбирались в момент их образования с помощью насоса и подавались в специальную измерительную камеру, в которой имелись поглотители для селективного поглощения углерода или кислорода, а непоглотившиеся газообразные продукты (азот, неон) откачивались. На рис.2 приведено схематическое устройство мишени, смонтированное в пробнике циклотрона.

Следует также упомянуть работу Х.Моринага<sup>(10)</sup>, в которой новый метод облучения в бетатроне на внутренней мишени<sup>(11)</sup> позволил изучить некоторые короткоживущие изотопы, в том числе и  $As^{81}$  с  $T_{1/2}=30$  сек, образующийся в реакции  $(\gamma, \rho)$  на природном селене.

При работе на выведенных пучках экспериментаторы получают гораздо больше возможностей и этот путь следует считать наиболее перспективным при постановке и решении задач, требующих экспрессных радиохимических выделений. В этом случае можно широко варьировать конструкцией мишени, агрегатным состоянием вещества и т.д., подчиняя все эти детали одной цели — быстрому выделению короткоживущих продуктов ядерных реакций. Например, Шиней и Стайнберг<sup>(6)</sup> при изучении  $Br^{86}$  ( $T_{1/2}=54$  сек) облучали нейтронами твердый криптон при температуре кипения азота и после отгонки криптона они могли быстро провести химическое выделение брома. Устройство установки для проведения этого опыта показано на рис.3.

Облучение мишеней выведенным пучком облегчает конструирование транспортирующих устройств, которые практически все, судя по литературе, являются пневматическими<sup>(12,13,14)</sup>. Благодаря одному из таких устройств, доставляющему мишень через 0,25 сек после конца облучения<sup>(14)</sup>, оказалось возможным изучить короткоживущие изомеры  $Ag^{103m}$  ( $T_{1/2}=5,7$ сек),  $Jn^{116m_2}$  ( $T_{1/2}=2,3$ сек) и  $Sb^{118m_2}$  ( $T_{1/2}=0,87$ сек)<sup>(15)</sup> без специального радиохимического выделения.

в) Аппаратура для проведения химических операций и приспособления для измерительных приборов определяются выбранным химическим методом и меняются в зависимости от поставленных задач. Здесь трудно сделать какие-либо обобщения или выбрать типичные примеры.



Наиболее удобным прибором для измерения короткоживущих продуктов ядерных реакций, распад которых сопровождается испусканием  $\gamma$ -квантов, являются  $\gamma$ -спектрометры с многоканальными анализаторами. При использовании в качестве детектора излучения сцинтиллирующего кристалла с фотоумножителем отпадает необходимость в специальном приготовлении препарата в форме, удобной для измерения. Можно измерять относительно большие объемы жидкостей, газы и жидкости на потоке. Для измерения же чистых  $\alpha$  и  $\beta$ -излучателей необходимо приготовление специальных мишеней, что в ряде случаев осложняет задачу изучения подобных короткоживущих изотопов.

### 3. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ БЫСТРОГО ВЫДЕЛЕНИЯ КОРТКОЖИВУЩИХ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ И РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Имеющиеся в литературе данные по выделению короткоживущих продуктов ядерных реакций позволяют сделать заключение, что в том случае, когда необходимо применение радиохимических методов для выделения короткоживущих изотопов из облученной мишени, реально можно рассчитывать на идентификацию изотопов с периодом полураспада больше одной минуты. Значительно легче идентифицировать короткоживущие продукты радиоактивного распада-дочерние изотопы, если период полураспада материнского ядра  $\geq 1$  часа. В этом случае иногда удается выделить дочерние изотопы с периодом порядка нескольких секунд.

Для быстрых разделений используется чаще всего комбинация нескольких селективных по отношению к изучаемому элементу методов. Наиболее удобными для экспрессных выделений являются методы экстракции и один из вариантов экстракции - метод распределительной хроматографии. Именно поэтому кажется целесообразным начать обзор с метода экстракции.

#### а) Экстракция

Об общем применении экстракционного метода в радиохимии сообщалось Фрайзером и Моррисоном<sup>(16,17)</sup>. В качестве хорошей иллюстрации возможностей этого метода для экспрессной радиохимии можно привести выделение изотопов  $Pd^{II3}$  ( $T_{1/2} = 1,4$  мин),  $Pd^{II4}$  ( $T_{1/2} = 2,4$  мин),  $Pd^{II5}$  ( $T_{1/2} = 45$  сек) из урана, облученного дейтронами с  $E = 14$  Мэв<sup>(18)</sup>. Выделение основано на селективной экстракции  $Pd$  в виде комплекса с диметилглиоксимом.

Другим примером может служить выделение изотопов  $Zr^{98}$  ( $T_{1/2} = 1$  мин) и  $Zr^{99}$  ( $T_{1/2} = 35$  сек) из продуктов деления урана при помощи раствора теноилтрифторацетона в ксилоле<sup>(19)</sup>.

Многочисленные примеры экспрессного экстракционного выделения радиоактивных изотопов приведены в таблице I, помещенной в конце обзора.

Особо следует обратить внимание на очень перспективный метод экстракции, получивший название распределительной хроматографии. В этом методе используется колонка, заполненная пористым инертным веществом (целлюлоза, силикагель, диатомовая земля), пропитанным экстрагентом. При фильтрации смеси радиоактивных элементов происходит селективное разделение.

Этот метод был использован Хансеном и др. для определения периода полураспада МЗ перехода ( $T_{1/2}=2,5$  сек) в изотопе  $Rr^{144}$ , образующемся при распаде  $Ce^{144(20)}$ . Для быстрого химического разделения этих изотопов использовалась диоктилфосфорная кислота, сорбированная на тонко измельченной диатомовой земле.  $Rr$  элюировался раствором 6М по  $HNO_3$  и 0,2 М по  $KBrO_3$ . В этих условиях  $Ce$  полностью оставался в колонке, т.к. отношение коэффициентов распределения  $Ce^{144}$  и  $Rr^{144}$  между диоктилфосфорной кислотой и водной фазой  $\gg 10^6(21)$ .

#### б) О с а ж д е н и е

Метод основан на специфичности или селективности реагента по отношению к изучаемому элементу. Специфичность образования диметилглиоксимата  $Pd$  (22), хлорида  $Ag$  (18,23,24), кобальтонитрита  $Cs$  (25), перхлората  $Cs$  (26), фторида  $Zr$  (27) и т.д. использовались при изучении короткоживущих изотопов этих элементов (см. таблицу 2).

Однако метод осаждения за счет адсорбции и окклюзии мешающих элементов на осадке не может быть столь селективным при разделении сложных смесей, как экстракция. Поэтому чаще всего осаждение используется в комбинации с другими методами в начале или конце операции.

Для поисков новых короткоживущих изотопов Шугерман предложил и использовал метод временного осаждения<sup>(28)</sup>. Он заключается в серийном осаждении элемента через определенные интервалы времени и в определении периода полураспада родительского изотопа по дочернему ядру. Применимость этого метода зависит от природы реакции осаждения: она должна быть быстрой по сравнению с интервалами между следующими друг за другом осаждениями, осадок не должен захватывать никакой другой активности.

С помощью этого метода был идентифицирован по дочерним изотопам  $Sr$  и  $Y$  ряд новых короткоживущих изотопов рубидия:  $Rb^{92}(T_{1/2} = 5,3$  сек),  $Rb^{93}(T_{1/2}=5,6$ сек)<sup>(29)</sup>,  $Rb^{94}(T_{1/2} = 2,9$  сек) и  $Rb^{95}(T_{1/2} = 2,5$  сек)<sup>(30)</sup> - из смеси продуктов деления.

#### в) Методы быстрого извлечения газообразных и летучих радиоактивных элементов

Общие принципы метода газовой хроматографии, используемого для идентификации радиоактивных газов деления, главным образом  $Kr$  и  $Xe$ , описаны Кохом и Грэнди<sup>(31)</sup>. Метод основан на количественном удалении газообразных продуктов деления с газом-носителем, поглощении их соответствующим сорбентом, разделении на фракции десорбцией и последующем измерении на  $\gamma$ -спектрометре. В каждом отдельном случае подбираются оптимальные условия (скорость потока газа-носителя, температура поглощения и десорбции, толщина слоя сорбента и т.д.). Этот принцип был использован для быстрого извлечения и разделения короткоживущих изотопов  $Kr$  и  $Xe$  (32,33,34). Схематическое изображение одной из аппаратур представлено на рис.4.

Метод фракционного поглощения  $Kr$  и  $Xe$  на активированном угле при соответствующей температуре ( $Xe$  при  $-20^{\circ}C$ ,  $Kr$  при  $-78^{\circ}C$ ) был также использован для изучения короткоживу-



щих изотопов этих радиоактивных ядер, образующихся при делении урана<sup>(35)</sup>.

Интересным является метод косвенного определения периода полураспада короткоживущих газообразных радиоактивных изотопов. Он заключается в том, что газообразный изотоп с газом-носителем пропускается через металлическую трубку, в которую вмонтирована отрицательно заряженная сетка. Скорость потока газа выбирается таким образом, чтобы изотоп распадался за время прохождения газа по длине трубки. Возникающие при распаде сравнительно долгоживущие дочерние изотопы в форме положительно заряженных ионов осаждаются на сетке, которая измеряется после соответствующей экспозиции. Таким методом были определены периоды полураспада благородных газов<sup>(36,37,38,39)</sup>.

Для быстрого выделения и измерения активности благородных газов, получаемых при облучении  $\mathcal{N}$  протонами с энергией 340 Мэв и свинца и висмута ионами углерода ( $C^{I2}$ ), использовался метод осаждения ионов благородных газов на заряженном электроде при напряжении несколько сот вольт<sup>(40,41)</sup>. Перенос эманации с газом-носителем (азот) в трубку с электродами осуществлялся под давлением. При наложении высокого напряжения возникал искровой разряд, вызывающий ионизацию газообразных атомов и заряженные ионы собирались на отрицательном электроде. Такой метод позволяет готовить очень тонкие источники, необходимые для  $\alpha$  и  $\beta$  - спектроскопии. Он был использован для получения  $Xe^{122}$  и продукта его распада  $\mathcal{J}^{122(40)}$ . В принципе этот метод может быть использован для получения более короткоживущих изотопов.

Дистилляционные методы выделения, основанные на летучести элемента или его соединений в определенных условиях с последующим улавливанием в подходящем сборнике (в сосуде с раствором, на пластинке-коллекторе и т.д.), широко используются для выделения короткоживущих изотопов, о чем свидетельствуют данные таблицы 2. На рис.5 показано устройство, которое было использовано для выделения изотопов астатина с  $T_{I/2} < 2$  мин из золота, облученного ионами углерода<sup>(42)</sup>. Золотая фольга после облучения переносилась в тигель, соединенный со стальным пальцем с  $Pt$ -коллектором, охлаждаемым до  $-80^{\circ}C$ . Золото быстро расплавлялось на дне тигля с помощью ацетилено-кислородного пламени, и возогнаный астатин конденсировался на  $Pt$ -коллекторе, который измерялся через 30 сек. Иногда проводилась дополнительная очистка астатина от  $Po$ . Летучесть элемента была успешно использована Перловым и Стеннеем при изучении короткоживущих изотопов брома  $Br^{88}$  ( $T_{I/2} = 15,5$  сек) и  $Br^{90}$  ( $T_{I/2} = 1,6$  сек), которые выделялись из продуктов деления урана в виде газообразного брома, поглощаемого в  $CCl_4$ <sup>(5,43)</sup>. На рис.6 показаны основные узлы устройства, применяемого для быстрого выделения брома. Образующийся при делении урана радиоактивный бром извлекался током воздуха, содержащего пары брома-носителя. Для облучения использовался раствор, содержащий 2 г  $U^{235}$  в 1M  $HNO_3$  и 0,5 M  $KBrO_3$ . Бромат-ион был необходим для перевода  $Br^-$  в  $Br_2$  и для окисления иода, образующегося в низших валентных состояниях ( $\mathcal{J}^-$ ,  $\mathcal{I}_2$ ) до нелетучего  $\mathcal{J}O_3^-$ . В системе предусмотрена очистка от иода, который может быть все-таки захвачен током воздуха при извлечении брома. Для



этого ток газов пропускаться над поверхностью кристаллического иода и через ловушки А и В. Радиоактивный бром поглощался в ловушке с  $CCl_4$ , а воздух откачивался насосом. Измерения радиоактивного брома проводились непосредственно в растворе.

Приведенные примеры относятся к галоидам, однако метод дистилляции с успехом использовался для многих элементов:  $Hg$  (44,45),  $Po$  (46,47,48),  $Te$  (49),  $Os$  (50,51) и некоторых других.

Очень интересным для быстрых выделений может оказаться метод, основанный на фракционной возгонке элементов при пониженном давлении, сообщенный Финстоном и Мискедом<sup>(52)</sup>. Этот метод позволяет в одной стадии выделить и сразу получить очень тонкий источник без носителя. Аппаратура для выполнения такого разделения подробно описана Паркером<sup>(53)</sup> и показана на рис.7. Облученная мишень помещалась в кварцевую трубку  $\mathcal{T}$  и нагревалась пламенем микрогорелки. Возгоняющиеся радиоактивные изотопы конденсировались на коллекторе, закрепленном на медном стержне и охлаждаемом смесью спирта и твердой углекислоты. Возгонка выполнялась при разрежении 0,1 мм  $Hg$ .

Пользуясь таким устройством, Паркер и Грундитц проводили в течение одной минуты выделение изотопов  $Hg$  из  $Au$ ,  $As$  из  $Ge$ ,  $T$  из  $Te$ ,  $Zn$  из  $Cu$ ,  $Ag$  из  $Rh$  и  $Pd$ ,  $Au$  из  $Pt$  (54).

#### г) И о н н ы й о б м е н

Ионообменные системы (неорганические и органические обменники) широко используются для разделения радиоактивных элементов и их очистки, о чем свидетельствует многочисленная литература<sup>(55)</sup>. Однако применение этого метода для быстрого выделения продуктов ядерных реакций довольно ограничено<sup>(56)</sup> и чаще всего этот метод используется с целью выделения короткоживущих дочерних изотопов<sup>(57,58,59)</sup>. В качестве примера использования быстрого хроматографического выделения короткоживущего продукта ядерной реакции служит выделение  $Mg^{27}$  с  $T_{1/2} = 9$  мин, образующегося при облучении алюминия быстрыми нейтронами<sup>(56)</sup>. Отделение  $Mg$  от  $Al$  основано на различной стабильности комплексов  $Mg$  и  $Al$  с этилендиаминтетрауксусной кислотой. При  $pH = 7,5 - 8$  оба хелата остаются на смоле, но т.к. комплекс  $Al$  более стабилен в широкой области  $pH = 3-10$ , а комплекс  $Mg$  менее стабилен при низких значениях  $pH$ , то последний элюируется со смолы в этих условиях. Облученная  $Al$ -фольга растворялась в 1 мл  $6N HCl$  при нагревании. После растворения добавлялось в раствор стехиометрическое количество двуназиевой соли ЭДТА.  $pH$  раствора доводилось до  $\sim 7,5$  и раствор быстро пропускаться через колонку с Дауэкс-2х8 наполовину в  $OH^-$ -форме, наполовину в  $CH_3COO^-$ -форме.  $Mg$  элюировался  $1N CH_3COOH$ .

Для быстрого ионообменного метода перспективным может оказаться использование и неорганических ионообменных систем: вольфрамата циркония, фосфата циркония и ряда других. Однако рассчитывать на быстрое выделение таким методом изотопов с  $T_{1/2} < 5$  мин из сложных

смесей продуктов, образующихся в результате ядерных реакций, нельзя.

Ионообменный метод более широко используется для выделения короткоживущих дочерних продуктов. Так для разделения дочернего изотопа  $Pb^{207m}$  ( $T_{1/2} = 0,8$  сек) и материнского изотопа  $Bi^{207}$  ( $T_{1/2} = 28$  лет) использовалось непрерывное ионообменное разделение на слое смолы Дауэкс-1 с малым размером частиц ( $60,6\mu$ ).  $Bi^{207}$  поглощался слоем анионита в  $1\text{ см}^3$  Дауэкс-1 из  $0,5N\text{HCl}$ , а дочерний  $Pb^{207m}$  в элюирующем растворе ( $0,5N\text{HCl}$ ) быстро поступал на измерение к счетчику. На рис.8 схематически показана аппаратура, в которой осуществлялась непрерывная циркуляция раствора.

#### д) И з о т о п н ы й    о б м е н

Метод, основанный на изотопном обмене между микро- и макроколичествами одного и того же элемента, очень перспективен для быстрого и селективного выделения короткоживущих изотопов из сложной смеси продуктов ядерных реакций.

Подробное описание этого метода приводится в работах Зундермана и Майнке<sup>(62)</sup> и Гроссмана и Германна<sup>(63)</sup>. В последней работе детально изучались системы  $Ag^+$  и  $J^- / Ag$  - галогид,  $Ba^{2+} / BaSO_4$ ,  $Fe^{II}$  и  $Fe^{3+} / FeJ$ ,  $Fe_2CrO_4$ ,  $Fe(OH)_3$ . Было показано, что при быстрой фильтрации (~ 5 сек) радиоактивного раствора через тонкий слой свежеприготовленного осадка происходит количественный изотопный обмен (> 95%). Возможность загрязнения осадка посторонними ионами существует, но она сильно зависит от того, какие это ионы и какое количество их. Например, при быстром обмене  $Cs$  в растворе уранилнитрата с осадком фосфомолибдата цезия мешающим может оказаться  $Rb$ , однако добавление носителя  $Rb$  подавляет его обмен с осадком (табл. I).

Т а б л и ц а    I

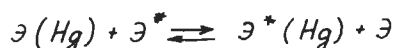
Разделение  $Cs - Rb$  быстрым гетерогенным обменом

Осадок	С р е д а			% обмен	
	Кислота	$UO_2(NO_3)_2$	$Rb$	$Cs^*$	$Rb^*$
$Cs - P - Mo$	$6N\text{HNO}_3$	-	-	99,5	99,5
		I г	-	93	25
		I г	25 мг	100	8
		3 г	25 мг	88	4
$Cs - Si - W$	$6N\text{HCl}$	-	-	99	99
$Rb - Si - W$	$6N\text{HCl}$	-	-	99	80
$Te - Si - W$	$6N\text{HNO}_3$	-	-	90	42
$Cs, Bi, J$	$80\%CH_3COOH$	-	-	3-30	6-20



Метод быстрого изотопного обмена был использован Фритцем и др. для быстрого выделения  $Ba^{143}$  с  $T_{1/2} = 13$  сек из продуктов деления урана<sup>(64)</sup>. Облученный раствор урана добавлялся к свежеприготовленной суспензии  $BaCl_2$  в 15 мл концентрированной  $HCl$ , содержащейся в воронке с мембраной. После этого немедленно осуществлялась фильтрация под вакуумом, осадок  $BaCl_2$  промывался 5 мл концентрированной  $HCl$  и измерялся через 10-12 секунд после конца облучения.

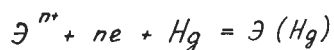
В последнее время для быстрого и селективного выделения радиоактивных элементов начал применяться метод изотопного обмена на амальгаме. Принцип метода заключается в том, что разделение изотопов происходит в силу быстрого обмена между элементом в форме разбавленной амальгамы и его ионами в растворе, т.е. если имеется гораздо большее количество неактивных атомов элемента в амальгаме по сравнению с содержанием его радиоактивных изотопов в растворе, то за счет обмена большая часть активности будет собираться в амальгаме:



Было найдено, что индивидуальные амальгамы, содержащие миллиграммовые количества  $Cd$ ,  $Te$ ,  $Bi$ ,  $Sr$ ,  $Zn$ ,  $In$  или  $Pb$ , удаляют микрограммовые или меньшие количества соответствующих радиоизотопов из подходящего кислого и солевого раствора с выходом не менее 50 % за несколько минут<sup>(65)</sup>. Проверялась возможность использовать этот метод для быстрого выделения радиоактивных изотопов кадмия<sup>(66)</sup>, индия<sup>(67)</sup>, цинка<sup>(68)</sup>. Этот метод как по степени очистки, так и по скорости его проведения имеет преимущество перед другими методами. Однако в настоящее время нет законченных работ по выделению короткоживущих изотопов этим методом.

#### е) Электрохимические методы

Среди электрохимических методов выделения и разделения микроколичеств радиоактивных элементов, в первую очередь, следует назвать очень интересный с точки зрения быстрых выделений метод полярографического восстановления на ртутном катоде. Метод полярографического анализа радиоактивных изотопов описан в работах Лове<sup>(69,70)</sup>. Он основан на селективном восстановлении элемента на капельном ртутном электроде до элементарного состояния, растворимого в ртути:



Критическими условиями в этом методе являются следующие факторы: возможность полярографического восстановления элемента до состояния, растворимого в ртути; потенциал восстановления, при котором происходит отделение; состав электролита, скорость падения капли. Контроль амальгамы, содержащей радиоактивный элемент, после ее отделения осуществляется  $\gamma$ -спектрометром.

Этот метод был использован для быстрого определения технеция и рутения в продуктах деления<sup>(71)</sup>. В работе использовалась полярографическая ячейка, устройство которой показано на рис.9. Анализируемый раствор переносился в сосуд А при открытом кране I и закрытом кране 2. Сосуд В заполнен таким количеством  $CSe_4$ , чтобы после введения радиоактивного раствора граница раздела  $CSe_4$ -водный раствор находилась на 12 см выше крана I. В радиоактивный раствор вводился капельный ртутный электрод и насыщенный каломельный электрод и подавался определенный потенциал, ячейка термостатировалась. Время падения ртутной капли должно быть постоянным и длиться несколько секунд. Ртуть, содержащая радиоактивные изотопы и собранная после падения за определенное время, удалялась при закрытом кране I и открытом кране 2. Амальгама промывалась водой, растворялась в минимальном объеме азотной кислоты и раствор измерялся на  $\gamma$ -спектрометре. Как показали опыты, на степень очистки очень влияет состав электролита.

Подобным же образом был отделен и изучен  $Rh^{106}$  ( $T_{I/2} = 30$  сек) из системы  $Ru^{106} - Rh^{106}$  (69). Для изучения короткоживущих продуктов ядерных реакций этот метод еще не использовался.

Методы электромиграции, в частности, метод фокусирующего ионного обмена, подробно описанный в работах Шумахера и Штрайфа<sup>(72,73)</sup>, позволяют быстро, в течение нескольких минут, а иногда и секунд, проводить разделение пары элементов и даже более сложных смесей, например:  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $UO_2^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  (72). Очень простая аппаратура для фокусирующего ионного обмена показана на рис.10. Полоска фильтровальной бумаги длиной 10–15 см и шириной 2 см, пропитанная раствором комплексобразователя, с нанесенным на нее препаратом, который необходимо разделить, погружается в заполненный  $CSe_4$  стеклянный сосуд.  $CSe_4$  служит охлаждающим агентом, т.к. для разделения требуется ток в 60 мА при напряжении 1600 в. Метод Шумахера удобен для выделения короткоживущих дочерних элементов, но для быстрого выделения изотопов из сложной смеси продуктов ядерных реакций, вряд ли применим.

#### ж) Метод отдачи

При работе на пучках ускоренных частиц в ряде случаев интересные результаты можно получить, собирая продукты ядерной реакции, вылетающие из мишени в результате отдачи после взаимодействия быстрой частицы с ядром мишени. Например, при облучении тонких металлических слоев  $Se$  и  $Tn$  многозарядными ионами были собраны на  $Pd$ -коллекторе и после несложной химической обработки выделены в радиохимически чистом виде изотопы лантана  $La^{126}$  с  $T_{I/2} = 1$  мин и  $La^{128}$  с  $T_{I/2} = 6,5$  мин<sup>(27)</sup>.

Другим интересным примером является выделение этим методом короткоживущих изотопов  $Mo^{105}$  ( $T_{I/2} = 40$  сек) и  $Mo^{104}$  ( $T_{I/2} = 1,1$  мин)<sup>(74)</sup>. Быстрое выделение  $Mo$  из продуктов



деления осуществлялось при облучении смеси соединений урана и  $Cr(CO)_6$ . Гексакарбонил хрома служил улавливающим соединением, в котором ядра отдачи Мо, возникающие при делении урана, замещали ядра  $Cr$  и затем отгонялись из облученной смеси вместе с парами  $Cr(CO)_6$ . Радиохимическая чистота этого метода основана на том, что Мо является единственным элементом из продуктов деления, который образует соединения с гексакарбониллом хрома.

В таблице 2 приведен ряд других примеров использования метода отдачи для выделения короткоживущих изотопов.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из задач настоящего обзора было создание по возможности полной картины того, какими средствами располагает радиохимия при работе с короткоживущими изотопами. Исходя из всего изложенного, можно сделать вывод, что несмотря на большие трудности, в основном конструктивного характера, применение быстрых радиохимических методов для выделения короткоживущих изотопов из таких сложных смесей, как продукты расщепления ядер протонами высоких энергий, получит свое дальнейшее развитие. Прямое использование описанных методов или их модификаций, дальнейшие поиски и создание новых экспрессных методов позволят экспериментаторам открыть новые короткоживущие изотопы и изучить их ядерные свойства.

В заключение выражаю благодарность члену-корреспонденту АН СССР Б.С.Джелепову за интерес, проявленный к составлению настоящего обзора.

5. Сводная таблица практических примеров использования быстрых радиохимических методов для выделения короткоживущих изотопов

Изотоп	$T_{1/2}$	Реакция получения	Мишень	Метод выделения	Краткое описание метода выделения	Время выделения	Ссылка
1	2	3	4	5	6	7	8
$^{10}\text{C}$	19,1 сек	$\text{B}^{10}(\rho, n)$	$\text{H}_3\text{BO}_3$ $\text{CaF}_2 \cdot \text{BF}_3$ $\text{B}_{\text{мет}}$	Дистилляция	а) Образующиеся газообразные продукты откачивались во время облучения или немедленно после окончания облучения в сосуд со слоем аскарита. Углерод поглощался, непоглотившийся азот и неон откачивались. Измерялась радиоактивность слоя поглотителя; б) Газообразный $\text{CO}_2$ поглощался раствором $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , измерялась радиоактивность осадка $\text{BaCO}_3$ .	1 сек  20сек	75, 8
$^{14}\text{O}$	72 сек	$\text{N}^{14}(\rho, n)$	$\text{KSCN}$	Дистилляция	Образующиеся газообразные продукты откачивались и кислород поглощался в виде водяных паров слоем $\text{CaCl}_2$ , мешающие газообразные продукты (C, N и др.) откачивались насосом.		8
$^{24}\text{Ne}$	3,38 мин	$\text{Ne}^{22}(t, p)$	$\text{Ne}$ газ	Дистилляция	Облученный газ пропускался через ловушку с АУ (активированный уголь) при $t$ сухого льда и измерялась активность ловушки. Загрязнения могут быть от He и Ar.		76
$^{24m}\text{Na}$	0,02 сек	Дочерн. $\text{Ne}^{24}(\beta^-)$		Осаждение на заряженном электроде	Газообразный $\text{Ne}$ пропускался через систему, в которой на отрицательно заряженном электроде ( $v = 6$ вольт) осаждался дочерний $\text{Na}$ . $\text{Ne}$ удалялся откачиванием, детектор для измерения активности устанавливался вблизи электрода.	10 мсек	76
$^{27}\text{Mg}$	9,4 мин	$\text{Al}^{27}(n, p)$	$\text{Al}_{\text{мет}}$	Ионный обмен	Фольга быстро растворялась при нагревании в 1 мл $6\text{N HCl}$ , после чего в раствор добавлялось стехиометрическое количество динатриевой соли ЭДТА, к охлажденному раствору добавлялся $\text{NH}_4\text{OH}$ до $\text{pH}=7,5$ . Раствор пропускался через колонку с Дауэкс 2x8. $\text{Mg}$ элюировался $1\text{N CH}_3\text{COOH}$ .		56



1	2	3	4	5	6	7	8
$P^{34}$	12,5 сек	$Ce^{37}(n, \alpha)$	Раствор $KCe$ $NaCe$	Осаждение	К облученному раствору добавлялась смесь $Mg_3PO_4$ и $HNO_3$ и $P^{34}$ осаждался в виде фосфоромолибдата.	30 сек	77
$S^{37}$	5 мин	$Ce^{37}(n, p)$	$KCe$ $NaCe$	Осаждение	Облученная соль растворялась, добавлялся носитель $SO_4^{2-}$ и осаждался $BaSO_4$	40 сек	77
$Cu^{68}$	32 сек	$Zn^{68}(n, p)$	Раствор $ZnSO_4$	Осаждение	К облученному раствору добавлялся порошок $Zn$ , после чего раствор фильтровался. Радиоактивная медь задерживалась на $Zn$ -порошке.		78
$Zn^{60}$	2,1 мин	$Ni(\alpha, 2n)$	$Ni$ - фольга	Осаждение или экстракция	1) Облученная фольга растворялась в $HNO_3$ , загрязнения $Cu$ сбрасывались на $Zn$ -порошке в слабокислой среде или осаждением $CuSCN$ . В фильтрате измерялся $Zn$ .		
$Zn^{61}$	1,5 мин	$Ni(\alpha, n)$			2) $Zn$ отделялся от $Cu, Ni, Co$ и $Fe$ экстракцией $CHCl_3$ в виде комплекса $Zn$ с ди- $\beta$ -нафтилтиокарбазоном.		79
$Ya^{64}$	2,6 мин	$Zn^{64}(p, n)$ $Zn^{64}(\alpha, 2n)$ $Cu^{63}(\alpha, 3n)$	$Zn$ -фольга $Zn^{64}O$ $Cu$ -фольга	Экстракция	Мишень растворялась в $HCl$ , $Ya$ экстрагировался из $6N HCl$ этиловым эфиром. Эфирная фаза после промывки упаривалась на подложке.		80
$Ya^{75}$	1,5 мин	$Ye(n, p)$	Раствор $YeCe_4, 8Cl_4$	Экстракция	Облученный раствор промывался $9M HCl$ , содержащей носитель $Ya$ . Из солянокислого раствора $Ya$ экстрагировался изопропиловым эфиром.	2 мин	3
$Ye^{73m}$	0,5 сек	Дочерний $As^{73}(\beta^+)$		Дистилляция	Через раствор $As^{73}$ (в 5-валентном состоянии) в концентрированной $HCl$ при $100^\circ C$ пропускался ток $N_2$ , который захватывал $YeCl_4$ . Измерялась радиоактивность газового потока.		81
$As^{68}$	7 мин	$Ye^{70}(p, 3n)$	$YeO_2$	Осаждение	Мишень растворялась в $27NH_3$ , раствор подщелачивался, пропускался ток $H_2S$ . Осадок сульфида мышьяка вторично переосаждался и измерялась его активность.		82

I	2	3	4	5	6	7	8
$Bz^{86}$	54 сек	$Kr^{86}$ (n, p)	Сконденсированный $Kr$	Осаждение	Замороженный $Kr$ облучался в конце кварцевой трубки, соединенной со специальной системой. $Kr$ после облучения и нагревания откачивался, а кварцевая трубка, на стенках которой оставался радиоактивный бром, промывалась горячим раствором 4M $HNO_3$ и 0,25 M по $NH_2OH \cdot H_2SO_4$ , содержащим носитель $Br^-$ и обратный носитель $Se$ . Из раствора осаждался $AgBr$ .	1,2 мин	6
$Br^{87}$	56,1 сек	$U^{235}$ (n, f)	Раствор уранилнитрата	Экстракция	К облученному раствору добавлялась 8M $HNO_3$ , насыщенная $KClO_3$ для окисления радиоактивных брома и иода, которые затем экстрагировались $CCl_4$ . Бром отделялся от иода экстракцией из органического слоя слабо подкисленным раствором $KNO_2$ .		83
$Pr^{88}$	15,5 сек	$U^{235}$ (n, f)	Раствор уранилнитрата	Дистилляция	Через облученный раствор продувался воздух, насыщенный парами брома в качестве носителя. Ток газообразных продуктов пропускался для очистки через ловушки (для удаления иода) и бром поглощался в ловушке с $CCl_4$ , в которой непосредственно измерялся.	Секунды	5
$Kr^{89}$	3,2 мин	$U(n, f)$	Раствор урана	Фракционное поглощение	Раствор облученного урана продувался газом ( $Ne - He$ ). Газообразные продукты пропускались через систему ловушек с АУ. Хе поглощался при $t = -20^\circ C$ и $Kr$ при $t = -78^\circ C$ . Десорбция газов проводилась при нагревании ловушки на водяной бане, газ удалялся в измерительную камеру.	4 мин	35
				Поглощение на АУ	Хе, $Kr$ улавливались газом-носителем ( $He$ ), поглощались на колонке с АУ при $t = 75^\circ F$ ( $41^\circ C$ ) и десорбировались при различной температуре и скорости потока газаносителя.		33,32
			Соль уранилнитрата	Газовая хроматография	Благородные радиоактивные газообразные продукты деления ( $Kr, Xe$ ), отделяющиеся от большинства про-	15 сек	84

1	2	3	4	5	6	7	8
					<p>дуктов деления за счет эманирования извлекались из облученной полиэтиленовой капсулы, содержащей <math>UO_2(NO_3)_2</math>, специальным устройством, состоящим из шприца, соединенного с газохроматографической колонкой, заполненной древесным углем.</p> <p>При выбранных условиях <math>Kr</math> проходил через колонку, а <math>Xe</math> поглощался слоем угля. Радиоактивность <math>Kr</math> и <math>Xe</math> измерялась после разъединения колонки и шприца.</p>		
$Kr^{90}$	35 сек		Пленка стеарата урана	Газовая хроматография	<p>1) Газообразные продукты из облученной ячейки удалялись с током <math>He</math> и поглощались при <math>t = 70^\circ F</math> (<math>40^\circ C</math>) на колонке длиной 15 см, заполненной стеклянной ватой с напыленным на нее очень тонким <math>AU</math> (200-400 меш). Разделение <math>Kr</math> и <math>Xe</math> проходило при скорости потока <math>He</math> <math>310 \text{ см}^3/\text{мин}</math>. Пик <math>Kr</math> получался через 4 сек и <math>Xe</math> через 27 сек. В зависимости от того, какой газ изучался, он и подавался в колбу для измерения, а другой газ собирался в ловушке с жидким воздухом.</p> <p>2) См. <math>Kr^{89}</math>.</p>	Секунды	34
$Kr^{91}$	10 сек						
$Rb^{82}$	1,25 мин	Дочерний $Sz^{82}$	Соль $U$	Осаждение	<p>Из раствора очищенной фракции <math>Sr</math> осаждался перхлорат <math>Rb</math>. В охлажденный на водяной бане раствор <math>HClO_4</math>, содержащий носители <math>Rb</math> и <math>Sz</math>, быстро добавлялся охлажденный абсолютный спирт. Осадок быстро фильтровался и измерялся.</p>		84 85
$Rb^{92}$	5,3 сек	$U (n.f)$		Осаждение	<p>Из раствора, содержащего продукты деления, осаждался <math>RbClO_4</math> и затем выделялись дочерние <math>Sz</math> и <math>Y</math>.</p>		29
$Rb^{93}$	5,6 сек						
$Rb^{94}$	2,9 сек						
$Rb^{95}$	2,5 сек						30
$Sz^{93}$	7,5 мин	$U (n.f)$	Раствор уранил-нитрата	Осаждение	<p>Из раствора осаждались нитраты <math>Sr</math> и <math>Ba</math>, которые разделялись затем хроматографически. <math>Sr</math> осаждался в виде <math>SzCO_3</math>.</p>		86



1	2	3	4	5	6	7	8
$Y^{89m}$	14 сек	Дочерний $Zr^{89}$		Экстракция	$Y^{89m}$ реэкстрагировался раствором $2M HClO_4$ из органической фазы, содержащей $Zr$ -ТТА и измерялся в растворе.		87
$Zr^{89m}$	4,5 мин	$Y^{89} (p, n)$	$Y_2O_3$	Осаждение	Мишень растворялась в $HNO_3$ и из раствора осаждался $Zr(ZO_3)_4$ . Осадок измерялся после фильтрации и промывки.		88
$Zr^{98}$ $Zr^{99}$	1 мин 35 сек	$U (n, f)$	Уранилнитрат	Экстракция, осаждение	1) Мишень растворялась в нескольких мл $HNO_3$ . $Zr$ без носителя экстрагировался раствором ТТА в ксилоле и реэкстрагировался $0,2NHNO_3-0,2NHF$ , содержащим носитель $Zr$ . Из раствора выделялся $La$ , а затем осаждался $BaZrF_6$ . 2) Мишень растворялась в $HCl$ , $Zr$ без носителя соосаждался с гидроокисью урана. Осадок растворялся в $HCl$ и $Zr$ экстрагировался ТТА. Измерялась активность органического раствора.	10 мин	19
$Nb^{90m}$	24 сек	Дочерний $Mo^{90}$		Ионный обмен	Раствор $6NHCl$ , содержащий $Mo^{90}$ , пропускался через колонку с Дауэкс-1, предварительно промытую $12NHCl$ . $Nb$ элюировался $5NHCl$ .		89
$Nb^{99}$ $Nb^{100}$ $Nb^{101}$	2,4 мин 3 мин 1 мин	$U (n, f)$	Уранилнитрат	Экстракция, осаждение	Уранилнитрат растворялся в нескольких мл $H_2O$ , добавлялись носители $Nb$ , $Mo$ , $Te$ , $Zr$ . Осаждалась $Nb_2O_5 \cdot xH_2O$ , осадок растворялся в горячей конц. $HCl$ , $Nb$ экстрагировался диизопропилкетон (ДИПК) и реэкстрагировался $6NHCl$ . Из этого раствора осаждалась гидроокись $Nb$ .	12 мин	19
$Mo^{104}$ $Mo^{105}$	1,1 мин 40 сек	$U (n, f)$	Смесь соединений урана и $Cr(CO)_6$	Сбор ядер отдачи, сублимация	Ядра отдачи $Mo$ , образующиеся при делении урана, улавливались в $Cr(CO)_6$ , где они замещали ядра $Cr$ . Затем $Mo$ отгонялся из облученной смеси вместе с парами $Cr(CO)_6$ .		74
$Tc^{92}$	4,3 мин	$Mo^{92} (\alpha, 2n)$		Дистилляция	$Mo$ дистиллировался из облученной мишени и соосаждался с $PtS$ .		49
$Ru^{93}$	50 сек	$Mo + \alpha$	$Mo$ -металлический	Дистилляция	$Mo$ растворялся в смеси $HNO_3$ и $HF$ . $Ru$ дистиллировался из раст-		90

I	2	3	4	5	6	7	8
$Ru^{107}$ $Ru^{108}$	4,2 МИН 4,5 МИН	$U+d$	$U$ -фольга	Дистилляция	вора после добавления $H_2SO_4$ и $KMnO_4$ для окисления $Ru$ до $RuO_4$ . $Ru$ дистиллировался как $RuO_4$ из раствора, содержащего $HClO_4$ .	5-8 МИН	91
$Rh^{98}$	8,7 МИН	Дочерний $Pd^{98}$		Осаждение	Очищенный $Pd$ в виде осадка диметилглиоксимата растворялся, добавлялся носитель $Rh$ и $Pd$ удалялся с купфероном. $Rh$ осаждался как $K_3[Rh(NO_2)_6]$ .	2МИН	22
				Ионный обмен	Очищенный $Pd$ -ДМГ растворялся в нескольких каплях $3NHCl$ , раствор пропусклся через колонку с Дау-экс-1, $Pd$ поглощался смолой, $Rh$ элюировался $6NHCl$ .		22
$Pd^{113}$ $Pd^{114}$ $Pd^{115}$	1,4 МИН 2,4 МИН 45 сек	$U+d$	$U$ -фольга	Экстракция	Мишень растворялась в царской водке, содержащей 2 мг носителя $Pd$ . После осаждения из раствора $AgCl$ $Pd$ экстрагировался $CHCl_3$ как комплекс с ДМГ. Органическая фаза промывалась разбавленной $HNO_3$ , $Pd$ реэкстрагировался конц. $NH_4OH$ . Для отделения загрязнений осаждалась $Fe(OH)_3$ , после чего $Pd$ восстанавливался $Zn$ -порошком, фильтровался, промывался и измерялся.	3 МИН	18
$Ag^{110}$	24,2 сек	Дочерний $Ag^{110m}$		Сбор ядер стдачи	В раствор, содержащий $Ag^{110m}$ , погружались $Cu$ -электроды на расстоянии 3 мм и накладывался потенциал в 600 в. Через 3 мин один из электродов вынимался, промывался и измерялся.		92
$Ag^{113m}$ $Ag^{114}$ $Ag^{115m}$	1,2 МИН 5сек 20сек	Дочерние  $Pd$		Осаждение	Радиоактивный $Pd$ , выделенный из облученной $U$ -фольги в форме металла, растворялся в царской водке, после разбавления раствора экстрагировался $CHCl_3$ $Pd$ -ДМГ). Органическая фаза приводилась в контакт с водной фазой, содержащей $Ag$ . После разделения фаз водный раствор промывался и осаждался $AgCl$ .	5 МИН	18
				Изотопный обмен	Радиоактивный металлический $Pd$ растворялся в царской водке, раст-	Секунды	18

1	2	3	4	5	6	7	8
<p><math>Ag^{II6}</math> <math>Ag^{II7}</math></p>	<p>2,5 МИН 1,1 МИН</p>	<p><math>U+d</math></p>	<p><math>U</math>-фольга</p>	<p>Осаждение, изотопный обмен</p>	<p>вор разбавлялся и <math>Ag</math> выделялось быстрым изотопным обменом с <math>AgCl</math> на <math>Ag</math>-фольге. Фольга промывалась водой и измерялась.</p> <p><math>U</math>-фольга растворялась в царской водке, раствор разбавлялся хлорной водой, осаждался <math>AgCl</math> или <math>Ag^*</math> обменивалось с <math>AgCl</math> на <math>Ag</math>-фольге. <math>AgCl</math> растворялся в <math>NH_4OH</math>, осаждалась <math>Fe(OH)_3</math>, серебро восстанавливалось <math>Zn</math>-порошком, растворялось в <math>HNO_3</math>. Раствор промывался <math>CHCl_3</math>, содержащим ДМГ, и осаждался <math>AgCl</math>.</p>	<p>3 МИН</p>	<p>18</p>
<p><math>Cd</math></p>		<p><math>U(n,f)</math></p>	<p>Уранил-нитрат</p>	<p>Изотопный обмен на амальгаме</p>	<p>Мишень растворялась в 1 мл <math>H_2O</math>, раствор переносился в специальный сосуд, добавлялся <math>CrSO_4</math> для восстановления <math>U^{6+}</math> до <math>U^{4+}</math>. Затем вводилась амальгама <math>Cd</math> (2% <math>Cd</math> по весу). После сильного перемешивания в течение 5 минут водная фаза удалялась. Амальгама промывалась и <math>Cd</math> экстрагировался ацетатом таллия. Измерялась водная фаза.</p>		
<p><math>Cd^{II9}</math> <math>Cd^{II9m}</math></p>	<p>9,5 МИН 2,7 МИН</p>	<p><math>U^{238}+d</math> <math>U^{238}+n</math></p>	<p><math>U</math>-фольга</p>	<p>Экстракция</p>	<p><math>U</math>-фольга растворялась в смеси <math>HCl</math> и <math>HNO_3</math>, раствор нейтрализовался <math>KOH</math>, разбавлялся 2М <math>KOH</math>, содержащим <math>NH_2OH.HCl</math> и <math>K_2C_4H_4O_6 \cdot 2H_2O</math>. Добавлялись носители <math>Cd</math>, <math>In</math>, <math>Ag</math>, <math>Pd</math> и комплекс <math>Cdс</math> дитиокарбазоном (<math>Dth</math>) экстрагировался <math>CHCl_3</math>. <math>Cd</math> реэкстрагировался 0,5 М <math>HCl</math>.</p>	<p>2 МИН</p>	<p>93,94</p>
<p><math>In^{II8}</math> <math>In^{II8m}</math></p>	<p>5,1 сек 4,5 МИН</p>	<p>Дочерние <math>Cd^{II8}</math></p>		<p>Экстракция</p>	<p><math>In</math> без носителя и <math>Cd</math>, содержащиеся в растворе <math>CHCl_3-HDth</math> извлекались <math>HBr</math>. Из раствора 8М по <math>HBr</math> <math>In</math> экстрагировался дихлордиэтиловым эфиром, а <math>Cd</math> оставался в водной фазе. <math>In</math> реэкстрагировался из органической фазы разбавленной <math>HCl</math> и осаждался в виде <math>In(OH)_3</math>.</p>		<p>93,94</p>



1	2	3	4	5	6	7	8
$Sn^{127}$	2,2 час 4,6 мин	$U + p$  $U + n$	$UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Экстрак- ция	Мишень растворялась в 0,5 $NHCl$ . После добавления носителей $Sn^{4+}$ , $Sb^{3+}$ и $As^{3+}$ осаждались сульфиды. Осадок растворялся в горячей 6 $NHCl$ , раствор разбавлялся 7M $NH_4SCN$ и $Sn$ экстрагировалось этиловым эфиром.	Не- сколь- ко минут	95
$Sn^{132}$	2,6 мин	$U(n, f)$	Пиридил- гексахло- роурат ( $pH_{H_2}$ ) $UCl_6$	Экстрак- ция	Мишень растворялась в 10% растворе $NH_4CH_2COO$ , добавлялись носитель $Sn^{2+}$ и $K, Na$ -тарtrat. $pH$ раствора доводилось до 8,5 с $NH_4OH$ и $Sn^{2+}$ экстрагировалась в течение 10-15 сек 10 мл 0,01% $Dth$ в $CCE_4$ .	45 сек	96
$Sn^{132}$	3,4 мин						
$Sn^{132}$	2,2 мин		Раствор $U^{235}$	Возгонка	Облученный раствор пропусклся в $Na$ -боргидридный раствор до образования летучего $SnH_4$ , который пропусклся через ловушку с $CaSO_4$ и ловушку с аскаритом для очистки от $Sb$ . Затем олово восстанавливалось до $Sn_{мет}$ .	5 сек	3
$Sb^{120m}$	9,9 мин	$Fe^{128}(n, p)$		Экстрак- ция	Мишень растворялась в $HCl$ и добавлялся носитель $Sb^{5+}$ . $Fe$ осаждался из холодного раствора $Sn^{2+}$ . $Sb^{3+}$ окислялась до $Sb^{5+}$ бромом в бензоле и экстрагировалась изо-пропиловым эфиром (бензол служил для лучшего разделения фаз). $Sb^{5+}$ восстанавливалась $Sn^{2+}$ .	5 мин	95
$Sb^{130m}$	7,1 мин	$Fe^{130}(n, p)$					
$Sb^{132}$	2,1 мин	$U(n, f)$	Раствор урана	Возгонка	Облученный раствор пропусклся через $Zn$ -металлический порошок при 100°C. Образующийся $SbH_3$ пропусклся через трубку с $CaSO_4$ для удаления возможного $SbI_3$ , и через кварцевую трубку, где $SbH_3$ разрушался и оседал на холодной части трубки.	10 сек	4
$Sb^{133}$	4,4 мин						
		$U(n, f)$	Раствор урана	Осажде- ние	Из раствора облученного урана проводилось сульфидное осаждение и пересаживание $Fe$ в полуавтоматическом химическом анализаторе.	10 сек	4
$Te^{114, 115}$		$J^{127}(p, 2p, xn)$	$NH_4J$	Возгонка	Мишень растворялась в нескольких каплях горячей $H_2O$ , содержащей $NH_2NH_2 \cdot HCl$ . Раствор упаривал-	30 сек	97

I	2	3	4	5	6	7	8
					ся на <i>Pt</i> -поверхности досуха, <i>Pt</i> прокаливалась ~ I сек до красного каления на пламени горелки. Радиоактивные <i>T</i> , <i>Sb</i> и <i>Sn</i> улетучивались, оставляя на <i>Pt</i> чистый <i>Te</i> без носителя.		
$Te^{115}$	6 мин	$Sn^{112}(\alpha, n)$	$Sn^{112}$ - фольга	Осаждение	Облученная <i>Sn</i> -фольга растворялась в I мл конц. <i>HCl</i> , содержащей носитель <i>Te</i> и несколько капель <i>Br<sub>2</sub></i> для более быстрого и полного растворения. <i>Te</i> -металлич. осаждался <i>SnCl<sub>2</sub></i> , быстро фильтровался и активность осадка измерялась прямо на стеклянном фильтре.	I-2 мин	98
$Te^{122}$	3,5 мин	Дочерний $Te^{122}$		Возгонка	Радиоактивный <i>Te</i> , предварительно поглощенный углем, удалялся при нагревании, а иод оставался на посеребренном угле.		99
$Te^{137}$	3,8 мин	$U(n, f)$	Раствор урана	Фракционное поглощение Поглощение на АУ	См. <i>Kr</i> См. <i>Kr</i>		35 32, 33
$Te^{139}$ $Te^{140}$	43сек 15сек	$U(n, f)$	Пленка стеарата урана и соль <i>U</i>	Газовая хроматография	См. <i>Kr</i>		34, 84
$Cs^{123}$	6 мин	$J^{127}(\alpha, \beta n)$	$CaI_2$	Осаждение	Мишень растворялась в <i>H<sub>2</sub>O</i> , насыщалась газообразным <i>HCl</i> при охлаждении и из раствора осаждался <i>Cs</i> кремневольфрамовой кислотой. Осадок растворялся в воде, пересаждался, опять растворялся в <i>H<sub>2</sub>O</i> и раствор пропускался через колонку с Дауэкс-50 для отделения кремневольфрамат-иона. <i>Cs</i> элюировался 6 <i>NHCl</i> .		100, 101
$Cs^{126}$	1,6 мин	Дочерний $Ba^{126}$		Осаждение	Из раствора, содержащего радиоактивный <i>Ba</i> , осаждался $Cs_2[Co(NO_2)_6]$	<3 мин	25
$Cs^{128}$	3,8 мин	Дочерний $Ba^{128}$		Осаждение	Из раствора <i>HClO<sub>4</sub></i> , содержащего $Ba^{128}$ , осаждался $CsClO_4$ при добавлении охлажденного абсолютно-го спирта.	<1 мин	26



1	2	3	4	5	6	7	8
$Cs^{I41}$	24сек	$U(n, f)$	Раствор уранил-нитрата	Метод временного осаждения	Из раствора осаждался $CsClO_4$ . После растворения осадка в 3М HCl из раствора выделялись дочерние изотопы: $Ba, La, Ce$ , образующиеся по цепочке распада $Cs \rightarrow Ba \rightarrow La \rightarrow Ce$		I02
$Cs^{I42}$	2,3 сек						
$Cs^{I43}$	2сек						
$Ba^{I23}$	2мин	$Jn^{13,15}(0, p, xn)$ $Jn(N^{14}, xn)$	$Jn$ -фольга	Осаждение	Мишень растворялась в HCl и из раствора осаждался $Ba(NO_3)_2$ , или $BaSO_4$ , при этом добавлялись обратные носители возможных загрязнений.		I03
$Ba^{I25}$	6,5 мин	$Sn(0^{16}, dxn)$	$Sn$ -фольга	Осаждение	то же		
$Ba^{I27}$	10 мин	$Sn(C^{12}, xn)$					
$Ba^{I43}$	13 сек	$U(n, f)$	Раствор уранил-нитрата	Изотопный обмен	Облученный раствор быстро пропускаться через свежеприготовленный осадок $BaCl_2$ , находящийся на фильтре. Активность осадка измерялась после промывки фильтра конц. HCl.	I0-15 сек	64
$La^{I24}$	7мин	$Jn^{13,15}(0, xn)$	$Jn$ -фольга	Осаждение	Мишень растворялась в горячей HCl, содержащей носители $La, Cs, Ba$ . $Ba$ удалялся осаждением $BaSO_4$ , после чего из раствора осаждался $LaF_3$ .		I13
$La^{I25}$	1мин						
$La^{I26}$	1мин	$Jn + 0^{16}$	$Jn$ -фольга	Сбор ядер	Ядра отдачи $La$ , образуемые при взаимодействии мишени с многозарядными ионами, собирались на $Pd$ -фольге. Фольга растворялась в HCl + $HNO_3$ и из раствора осаждался $LaF_3$ .	I,7 мин	27
$La^{I28}$	6,5 мин	$Sb + C^{12}$	$Sb$ , нанесенная тонким слоем	отдачи			
$La^{I30}$	9мин						
$La^{I34}$	6,5 мин	Дочерний $Ce^{I34}$		Осаждение	Из раствора, содержащего очищенный $Ce^{I34}$ в 4-х валентном состоянии, осаждался $LaF_3$ .		I04
$Ce^{I45}$	3мин	$U(n, f)$	10М по $HNO_3$ раствор уранил-нитрата	Экстракция	В облученном растворе Ce окислялся $NaBrO_3$ до $Ce^{4+}$ и экстрагировался метилизобутилкетонем, затем Ce реэкстрагировался в водную фазу после восстановления $H_2O_2$ .	9мин	I05
Ce		$U(n, f)$		Экстракция	Мишень растворялась в 10М $HNO_3$ , Ce окислялся до $Ce^{4+}$ и экстрагировался раствором диоктилфосфорной кислоты в гептане. Время экстракции	10 мин	21



1	2	3	4	5	6	7	8
$Os^{180}$	2 мин	$Re + p$	$Re_{мет}$	Дистилляция	30 сек, измерялась радиоактивность органического раствора. Мишень растворялась в $HNO_3$ , содержащей носитель $Os$ , который дистиллировался как $OsO_4$ и поглощался в 6M $NaOH$ . $Os$ осаждался в виде сульфида.		51
$Os^{195}$	6,5 мин	$Pt + n$		Дистилляция	Из раствора облученной $Pt$ дистиллировался $OsO_4$ .		50
$Pt^{201}$	2,3 мин	$Hg^{201}(n, \alpha)$	$HgO$ $Hg(NO_3)_2 \cdot H_2O$	Осаждение	1) $HgO$ растворялась в 6M $HCl$ и осаждался $K_2PtCl_6$ или $(NH_4)_2PtCl_6$ 2) $Hg(NO_3)_2 \cdot H_2O$ растворялся в 3M $HNO_3$ , отделялись $Au-Hg$ и платина осаждалась как $K_2PtCl_6$ .	3,5 мин 4,2 мин	2
$Au^{183-187}$	4,3 мин	$Au + p$ $Pt + p$	$Au_{мет}$ $Pt_{мет}$	Экстракция	Мишени растворялись в $HCl-HNO_3$ , раствор делался 6M по $HCl$ и хлорид $Au$ экстрагировался этилацетатом. Органический раствор после промывки упаривался на $Pt$ -пластинке.		44
$Au^{188}$	4,5 мин	$Fe + C^{12}$	$Fe_{мет}$	Экстракция	Мишень растворялась в 27M $HF$ и 16M $HNO_3$ , добавлялись носители $Hg$ , $Au$ , $Pt$ , $Fe$ и проводилось восстановление $SnCl_2$ . Измерялась активность осадка; или осадок растворялся в царской водке и $Au$ экстрагировалось амилацетатом и измерялась активность органического раствора.		106
$Hg^{195}$	0,7 мин	$Au + d$	$Au_{мет}$	Дистилляция	Мишень нагревалась в специальной камере и пары $Hg$ конденсировались на $Pt$ -пластинке, охлаждаемой $H_2O$ .	~5 мин	44
$Pb^{207m}$	0,8 сек	Дочерний $Bi^{207}$		Ионный обмен	$Pb^{207m}$ элюировался 0,5M $HCl$ с Дауэкс-I, на которой был поглощен $Bi^{207}$ , элюат сразу измерялся.		60, 61
$Bi^{198}$	1,7 мин	$Pb + \alpha$	$Pb_{мет}$	Внутренний электролиз	Мишень растворялась в 6M $HNO_3$ , раствор нейтрализовался $NaOH$ и $Bi$ осаждался на $Mi$ -фольге при погружении ее на несколько минут в теплый раствор.	10 мин	107
$Bi^{211}$	2,16 мин	$Pb + \alpha$	$PbCO_3$	Осаждение	Мишень растворялась в горячей $HNO_3$ ; после добавления носителя $Bi$ раствор упаривался до осаждения	4 мин	112

I	2	3	4	5	6	7	8
Po <sup>195</sup> Po <sup>196</sup>	0,5 МИН 1,8 МИН	W + Ne	W - фольга	Дистилляция	<p>Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Раствор отделялся от осадка, нейтрализовался и Bi осаждался 1%-ым раствором тионалида (β - нафталид тиогликолевой кислоты). Органический осадок Bi промывался, растворялся в ацетоне, который наносился на диск и упаривался.</p> <p>Фольга нагревалась под лампой и одновременно поверхность W протравливалась раствором 9NHF - 2MНNO<sub>3</sub>. Раствор упаривался и затем при сильном нагревании возгонялся Po, который оседал на охлаждаемой Pt -пластинке.</p>	2-3 МИН.	46, 47
				Электроосаждение	<p>Мишень растворялась в HF - HNO<sub>3</sub>, добавлялась 1%-ая винная кислота и раствор разбавлялся до оптимальной концентрации: 0,2-0,5N по HF ; 0,4-0,7N по HNO<sub>3</sub>; 0,1% по винной кислоте; [W] = 50мМ/л. Из такого раствора Po осаждался на Pt -аноде (проволочке) при плотности тока 50 мА/см<sup>2</sup>.</p>	12 МИН	46, 47
Po <sup>212m</sup>	45,1 сек	Bi <sup>209</sup> + α Pb + B <sup>n</sup>	окись	Дистилляция, ионный обмен	<p>Мишень нагревалась таким образом, чтобы Po и At дистиллировались без заметного испарения Bi и Pb. Po и At осаждались на Pt -пластинке, с которой селективно удалялся At, оставляя 45 сек активность с Po. Оставшаяся активность смывалась с Pt -пластинки HCl и раствор наносился на маленькую колонку с Дауэкс-I, которая промывалась 12NHCl, при этом вымывались Pb, Bi, Fe. Po вымывался конц. HClO<sub>4</sub>.</p>		48
At <sup>203</sup>	1,7 МИН	Bi + α	Bi нет	Экстракция	<p>Bi растворялся в конц. HCl, в раствор добавлялся FeSO<sub>4</sub> для восстановления At до At<sup>0</sup>, который экстрагировался диизопропиловым эфиром. Органический слой промывался и упаривался на стальном диске.</p>		III
At <sup>202</sup>	3МИН	Au + C	Au нет	Дистилляция	<p>1) Мишень нагревалась до красного каления в кварцевом сосуде</p>		I08

1	2	3	4	5	6	7	8
$At^{203}$	7,4 МИН			Дистилляция	и возогнаный $At$ конденсировался на $Al$ -фольге, охлаждаемой $H_2O$ . Так как при этом вместе с $At$ дистиллировалась некоторая доля $Ro$ , то проводилась вторая дистилляция. $Al$ -фольга нагревалась во втором сосуде и $At$ собирался на $Pt$ -диске, охлаждаемом $H_2O$ .		108
$At^{204}$	9,3 МИН	$Pt+N$	$Pt_{нет}$		2) $Au$ -фольга помещалась в тигель, соединенный со стальным пальцем, в котором помещался $Pt$ -коллектор. Палец охлаждался до $-80^{\circ}C$ . $Au$ быстро расплавлялось в тигле на ацетилено-кислородном пламени. Активность $At$ измерялась на $Pt$ -коллекторе или смывалась несколькими каплями конц. $HCl$ , содержащей $FeSO_4$ для восстановления $At$ до $At^0$ , который экстрагировался ДИПЭ.	30 сек	42
$Fr^{223}$	22 МИН	Дочерний $Ac^{227}(\alpha)$		Бумажный электрофорез	Раствор $Ac$ , содержащий аммонийную соль органической кислоты (щавелевой, лимонной и др.), помещался в ячейку для электрофореза. К концам полоски бумаги накладывался потенциал 80 $v/cm$ . Разделение основано на различной подвижности ионов вдоль полосы бумаги.	30 сек. 1 мин	109
$Ra^{226}$	1,8 МИН	$Th^{232} + \alpha$	$Th_{нет}$ $Th(NO_3)_4$	Экстракция	$Th_{нет}$ растворялся в конц. $HNO_3$ с несколькими каплями 0,2 М $(NH_4)_2 SiF_6$ для ускорения растворения. $Th(NO_3)_4$ растворялся в 4М $HNO_3$ . Раствор разбавлялся и $Ra$ экстрагировался ТТА в бензоле. Органический слой упаривался на $Pt$ -пластинке.		9, 110



## Л и т е р а т у р а

1. F.Strassman, Z.Electrochem. 64, 8/9, 1011, 1960;  
Y.Kusaka, W.W.Meinke, "Rapid Radiochemical Separations"  
NAS-NS-3104, 1961.
2. J.Facetti, E.Trabal, R.McClin, S.Torres, Phys.Rev. 127,  
1690, 1962.
3. Ch.Ythier, Comp.rend. 250, 3012, 1960.
4. D.L.Love, AERE-M1078, N.7, Discussion on Nucl.Chem.  
Oxford, Sept. 18-20, 1962.
5. G.J.Perlow, A.F.Stehney, Phys.Rev. 107, 776, 1957.
6. A.F.Shenney, E.P.Steinberg, Phys.Rev. 127, 2, 563, 1962.
7. N.W.Glass, J.R.Richardson, Phys.Rev. 98, 1251, 1955.
8. K.Sherr, H.R.Muether, M.G.White, Phys.Rev. 75, 282, 1949.
9. C.R.Sun, B.T.Wright, Phys.Rev. 109, 109, 1958.
10. Х.Моринага, "Получение и применение радиоактивных  
изотопов". стр. 20, Госатомиздат, 1962 год.
11. H.Morinaga, T.Kuroyanagi, Nucl.Instr. and Meth. 6, 66, 1960.
12. W.W.Meinke, Nucleonics 17, 9, 86, 1959.
13. W.W.Meinke, A.Ghiorso, G.T.Seaborg, Phys.Rev. 81, 782, 1951.
14. W.M.Martin, S.W.Breckon, Can.J.Phys. 30, 643, 1952.
15. W.White, W.M.Martin, Can.J.Phys. 40, 865, 1962.
16. H.Freiser, Ann.Rev.Nucl.Sci. 9, 221, 1959.
17. G.H.Morrison, H.Freiser, Solvent Extraction in Analytical  
Chemistry, N. Y, 1957.

18. J.M.Alexander, U.Schindewolf, Ch.D.Coryell, Phys.Rev. 111, 228, 1958.
19. C.J.Orth, R.K.Smith, J.Inorg.Nucl.Chem. 15,I/2,4,1960.
20. P.G.Hansen, H.L.Nielsen, K.Wilsky, ABRE-M1078, No.34, Discussion on Nuclear Chemistry, Oxford, Sept. 18-20,1962.
21. D.F.Peppard, G.W.Mason, S.W.Moline, J.Inorg.Nucl.Chem. 5,141,1957.
22. S.Katcoff, H.Abrash, Phys.Rev. 103,966,1956.
23. H.G.Hicks, R.S.Gilbert, Phys.Rev. 94,371,1954.
24. R.B.Duffield, J.D.Knight, Phys.Rev. 75,1613,1949.
25. M.I.Kalkstein, J.M.Hollander, Phys.Rev. 96,730,1954.
26. M.Lindner, R.N.Osborne, Phys.Rev. 88,1422,1952.
27. R.K.Sheline, T.Sikkeland, R.W.Chanda, Phys.Rev.Lett. 7,446,1961.
28. W.Sugarman, J.Chem.Phys. 17,11,1949.
29. K.Fritze, T.J.Kennett, Can.J.Phys. 38,1614,1960.
30. K.Fritze, T.J.Kennett, W.V.Prestwich, Can.J.Chem. 39, 675,1961.
31. R.C.Koch, G.L.Grandy, Nucleonics, 18,7,76,1960.
32. R.C.Koch, G.L.Grandy, Anal.Chem. 33,43,1961.
33. R.C.Koch, G.L.Grandy, J.A.Roll, Nucl.Sci.&Eng. 10,I83,1961.
34. D.W.Ockenden, R.H.Tomlinson, Can.J.Chem. 40,1594,1962.
35. S.Prakash, Z.Electrochem 64,8/9,1037,1960.
36. H.Rodenbush, G.Herrman, Z.Naturforsch 16a,577,1961.
37. A.C.Wahl, J.Inorg.Nucl.Chem. 6, 263, 1958.

38. Ch.W.Townley, J.E.Howes, G.W.Reines, W.S.Diethorn, D.W.Sunderman, Nucl.Sci. & Eng. 10,4,346,1961.
39. C.R.Dillard, R.M.Adams, H.Tinston, A.Turkevich, Radiochemical Studies; The Fission Products 2,p.66,1951.
40. H.B.Mathur, E.K.Hyde, Phys.Rev. 96,126,1954.
41. F.F.Moyer, E.K.Hyde, J.Inorg.Chem. 1,274,1957.
42. W.Forsling, T.Alvåger, L.W.Holm, O.Melin, J.Uhler, B.Aström, Arkiv Fysik 19,83,1961.
43. G.J.Perlow, A.F.Stehney, Bull.Am.Phys.Soc.Ser.II, 3,6,1958.
44. J.O.Rasmussen, S.G.Thompson, A.Ghiorso, Phys.Rev. 89,33, 1953.
45. R.W.Fink, E.O.Wiig, J.Am.Chem.Soc. 74,2457,1952.
46. G.Oelsner, W.Forsling, Arkiv Kemi, II,349,1957.
47. H.Atterling, W.Forsling, B.Aström, Arkiv Fysik 15, 279,1959.
48. J.Pearlman, F.Asaro, A.Ghiorso, A.Larsh, R.Latimer, Phys. Rev. 127,3,917,1962.
49. E.E.Motta, G.E.Boyd, Phys.Rev. 73,1470,1948.
50. G.Baro, P.Rey, Z.Naturforsch 12a, 520, 1957.
51. J.S.Foster, J.W.Hilborn, L.Jaffe, Can.J.Phys. 36,555,1958.
52. H.L.Finston, J.Mishel, Ann.Rev.Nucl.Sci.5,269,1955.
53. W.C.Parker, Nucl.Instr. & Meth. 8,354,1960.
54. W.C.Parker, Y.Grunditz, Nucl.Instr. & Meth. 14,71,1961.
55. G.W.Ledicotte, Anal.Chem. 34,143R,1962.
56. E.Cerrai, F.Gadda, J.Inorg.Nucl.Chem 16,356,1961.
57. A.J.Poë, Phil.Mag. 46,611,1955.
58. C.J.Browne, J.O.Rasmussen, J.P.Surls, D.F.Martin, Phys.Rev. 85,146,1952.



59. R.W.Hoff, J.M.Hollander, M.C.Michel, J.Inorg.Nucl.Chem. 18,1,1961.
60. E.C.Campbell, F.Nelson, Phys.Rev. 91,499,1953.
61. E.C.Campbell, F.Nelson, J.Inorg.Nucl.Chem.3,233,1956.
62. D.N.Sunderman, W.W.Meinke, Anal.Chem. 29,1578,1957.
63. D.Grossman, G.Herrmann, AERE-M 1078, N.51, Discussion on Nuclear Chemistry, Oxford, Sept. 18-20,1962.
64. K.Fritze, T.J.Kennett, W.P.Prestwich, Can.J.Phys. 39, 662,1961.
65. J.R.De Voe, Ch.K.Kim, W.W.Meinke, Talanta 2,3,298,1960.
66. J.R.De Voe, H.W.Nass, W.W.Meinke, Anal.Chem. 33,1713,1961.
67. R.R.Ruch, J.R.De Voe, W.W.Meinke, Talanta 9,33,1962.
68. W.Silker, Anal.Chem 33,233,1961.
69. D.L.Love, Anal.Chim.Acta 18,72,1958.
70. D.L.Love, New Techniques in Radiochemical Determinations through Polarographic Methods, USNRDL-TR-225,1958.
71. D.L.Love, A.E.Greendall, Anal.Chem 32,780,1960.
72. E.Schumacher, H.J.Streiff, Helv.Chim.Acta 40,221,228,1957.
73. E.Schumacher, H.J.Streiff, Helv.Chim.Acta 41,824,1777,1958.
74. P.Kienle, B.Weckermann, F.Baumgärtner, U.Zahn, Naturwiss. 49,294,1962.
75. K.Sherr, H.R.Muether, M.G.White, Phys.Rev. 74,1298A,1948.
76. B.J.Dropesky, A.W.Schardt, Phys.Rev. 102,426,1956.
77. W.Zúnti, E.Bleuler, Helv.Phys.Acta, 18,263,1945;  
19,137,1946.

78. A.Flammersfeld, Z.Naturforsch 8a, 274,1953.
79. L.Lindner, G.A.Brinkmann, Physica 21, 747,1955.
80. B.Craseman, Phys.Rev. 90, 995, 1953.
81. E.C.Campbell, F.Nelson, Phys.Rev. 107, 502, 1957.
82. F.D.S.Butement, E.G.Prout, Phil.Mag. 46, 357, 1955.
83. A.H.Snell, J.S.Levinger, E.P.Meiners, M.B.Sampson,  
R.G.Wilkinson, Phys.Rev. 72, 545, 1947.
84. M.A.Wahlgren, W.W.Meinke, J.Inorg.Nucl.Chem. 24,1527,1962.
85. S.M.Litz, S.A.Ring, W.R.Balkwell, Phys.Rev. 92,288,1953.
86. W.V.Prestwich, K.Fritze, T.E.Kennett, Nucl.Phys. 37,1,45,  
1962.
87. M.Goldhaber, E.Mateosian, G.Scharff-Goldhaber, A.W.Sunyar,  
M.Deutsch,N.S.Wall, Phys.Rev. 83,661,1951.
88. L.A.Bridge, J.Marshall, Phys.Rev. 58,7,1940.
89. H.B.Mathur, E.K.Hyde, Phys.Rev. 98,79,1955.
90. A.H.W.Aten, T. De Vries-Hamerling, Physica 21,544,1955.
91. W.R.Pierson, H.C.Griffin, Ch.D.Coryell, Phys.Rev. 127,  
1708,1962.
92. J.Miskel, Phys,Rev. 79,403,1950.
93. Ch.E.Gleit, Ch.D.Coryell, Phys.Rev. 122,229,1961.
94. Ch.E.Gleit, Ch.D.Coryell, Phys.Rev. 124,1914,1961.
95. E.Hagebø, A.Kjelberg, A.C.Pappas, J.Inorg.Nucl.Chem.  
24,117,1962.
96. A.C.Pappas, D.R.Wiles, J.Inorg.Nucl.Chem. 2,69,1956.
97. R.W.Fink, G.Andersson, J.Kantele, Arkiv Physik 19,323,  
1961.

98. И.П.Селинов, Н.А.Вартанов, Д.Е.Хулелидзе, Ю.А.Блиодзе, Н.Г.Зайцева, В.А.Халкин, ЖЭТФ, 38, 1654, 1960.
99. B.Dropesky, E.O.Wiig, Phys.Rev. 88, 683, 1952.
100. H.B.Mathur, E.K.Hyde, Phys.Rev. 95, 708, 1958.
101. E.K.Hyde, J. Am.Chem.Soc. 74, 4181, 1952.
102. K.Fritze, Can.J.Chem. 40, 7, 1344, 1962.
103. I.L.Preiss, P.M.Strudler, J.Inorg.Nucl.Chem. 24, 589, 1962.
104. B.J.Strover, Phys.Rev. 81, 8, 1951.
105. S.S.Markowitz, W.Bernstein, S.Katcoff, Phys.Rev. 93, 178, 1954.
106. K.F.Chakett, G.A.Chakett, J.Inorg.Nucl.Chem. 4, 225, 1957.
107. H.M.Neumann, J.Perlman, Phys.Rev. 78, 191, 1950.
108. R.M.Latimer, G.E.Gordon, T.E.Thomas, J.Inorg.Nucl.Chem. 17, I/2, 1, 1961.
109. J.P.Adloff, P.Bertrand, Comp.Rend. 254, 2575, 1962.
110. W.W.Meinke, J.Chem.Phys. 20, 754, 1952.
111. G.W.Barton, A.Ghiorso, J.Perlman. Phys.Rev. 82, 13, 1951.
112. F.N.Siess, Phys.Rev. 94, 1292, 1954.
113. J.L.Preiss, P.M.Strudler, R.Wolfgang, Phys.Rev. 129, 1284, 1963.



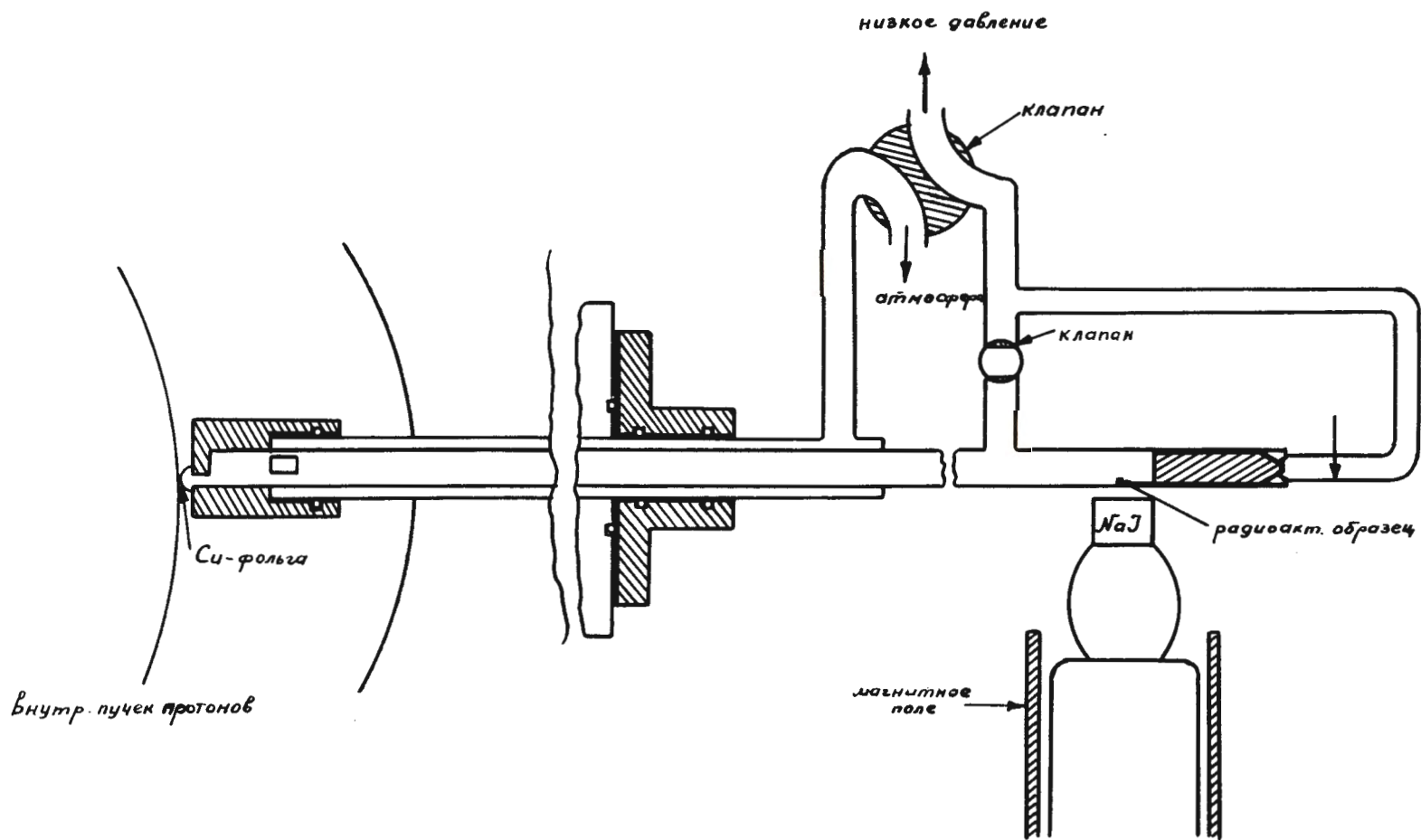


Рис. I. Схема пневматической доставки облученной мишени из циклотрона<sup>(?)</sup>.

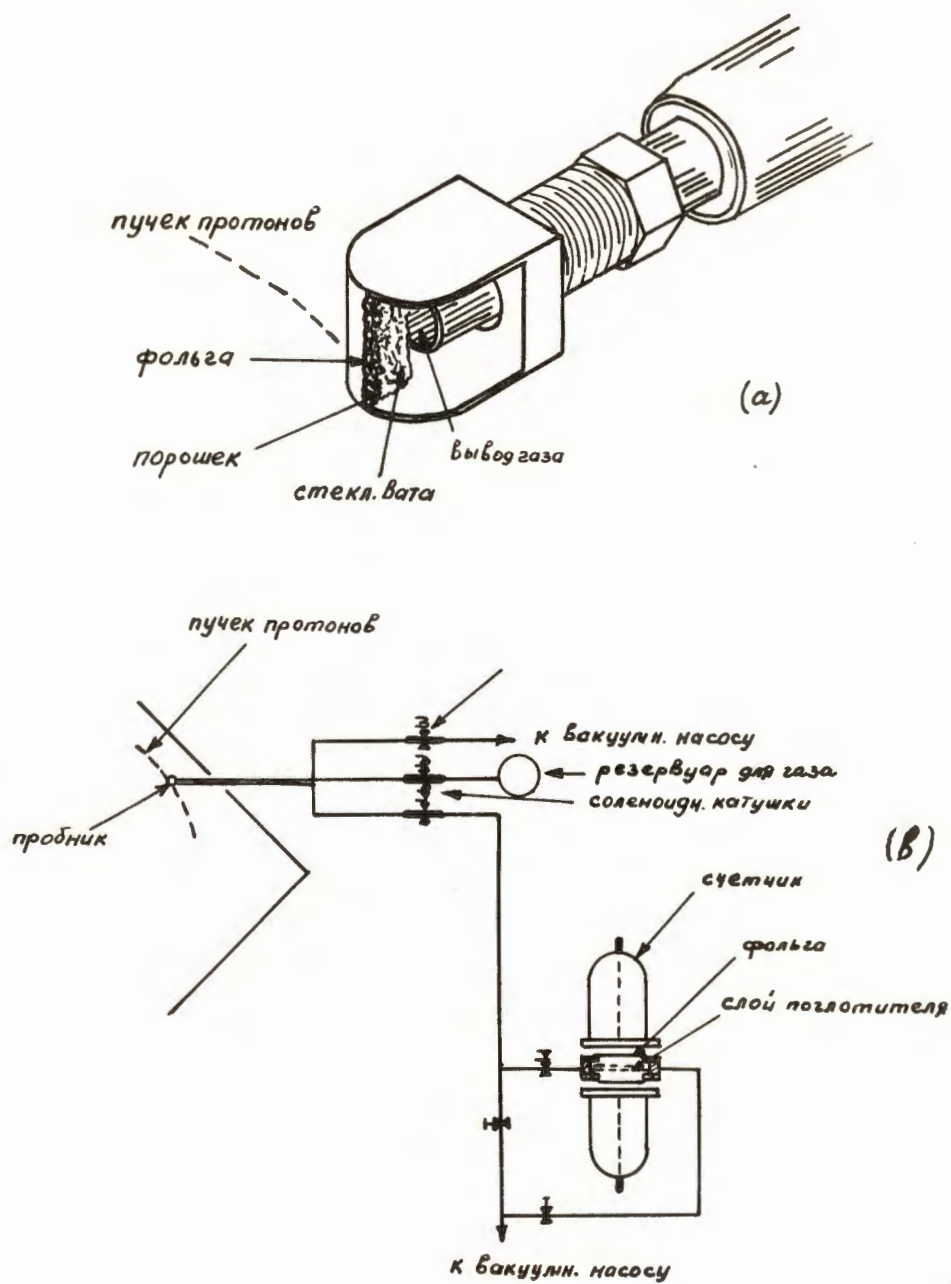


Рис.2. Устройство пробника для облучения (а) и схема извлечения газообразных продуктов (в)<sup>(8)</sup>.

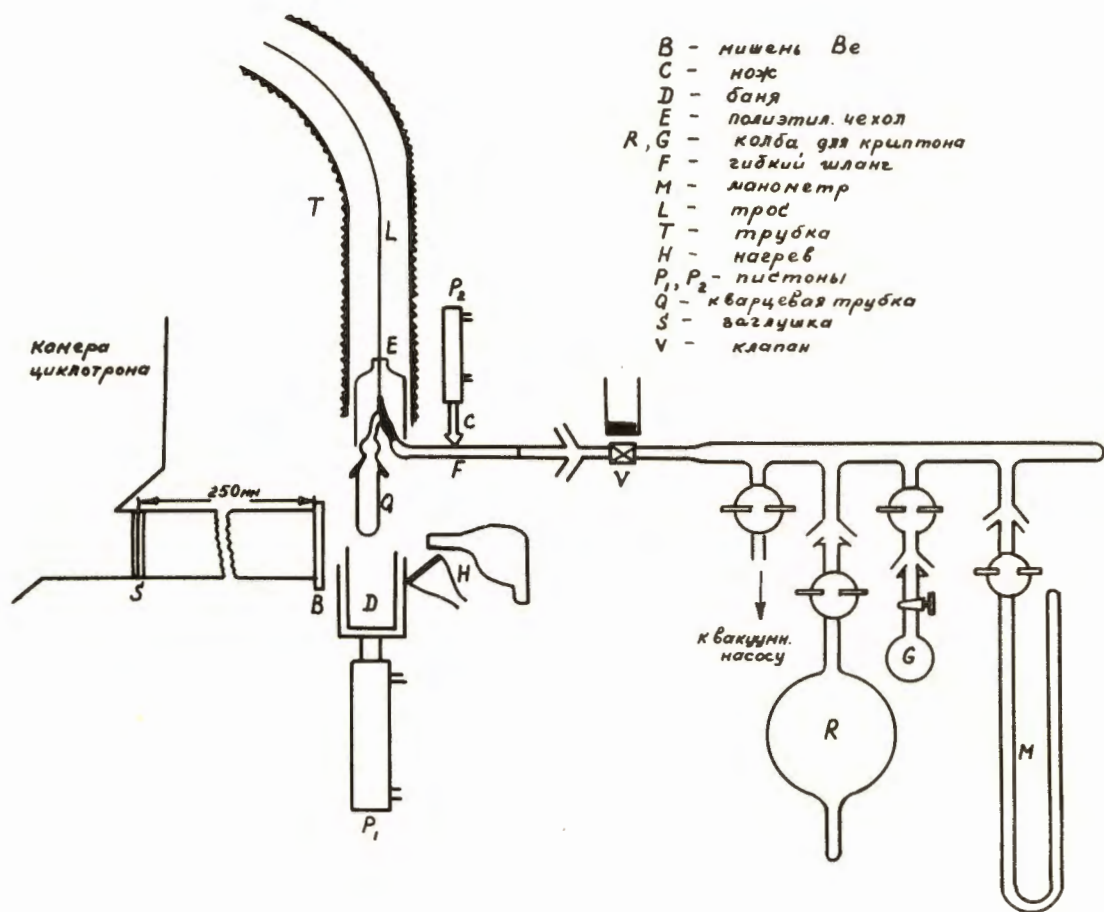


Рис.3. Схематическая диаграмма аппаратуры для выделения  $Vg^{86}$  ( $T_{I/2} = 54$  сек) из  $Kz^{(6)}$ .



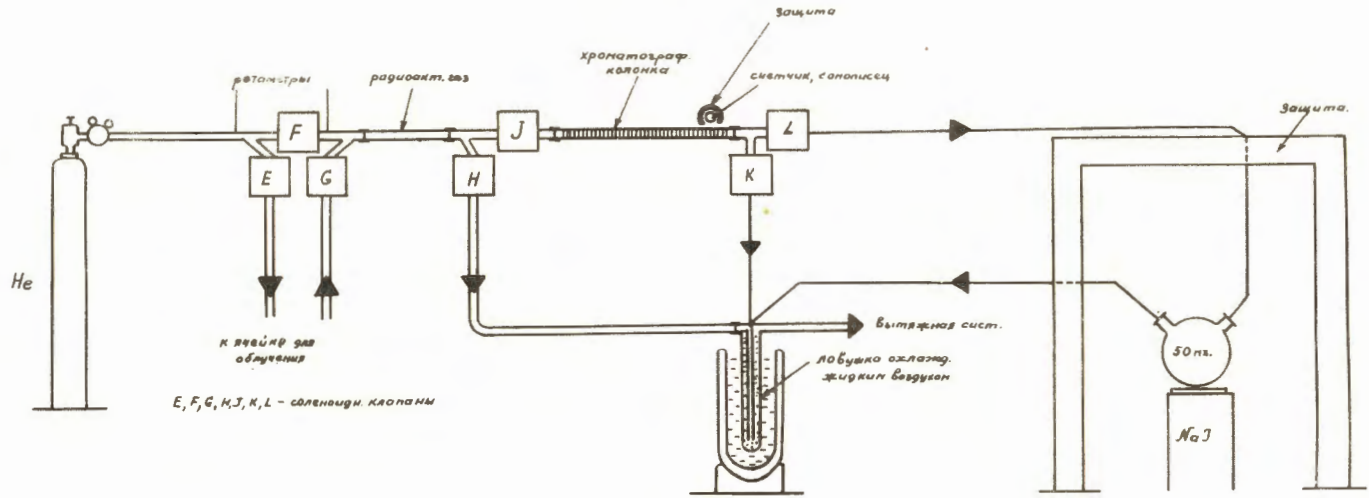


Рис.4. Диаграмма аппаратуры для изучения короткоживущих ядер редких газов из продуктов деления<sup>(34)</sup>.

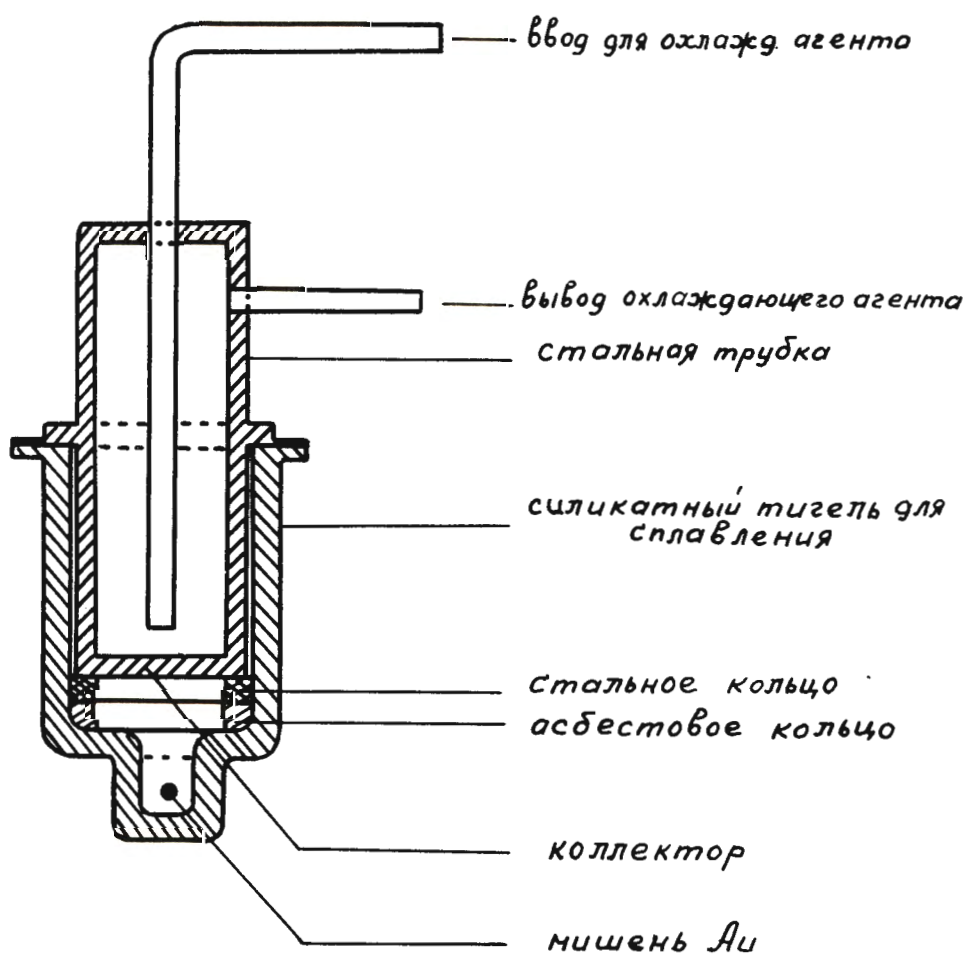


Рис.5. Устройство для дистилляции  $At$  из облученной золотой фольги<sup>(42)</sup>.

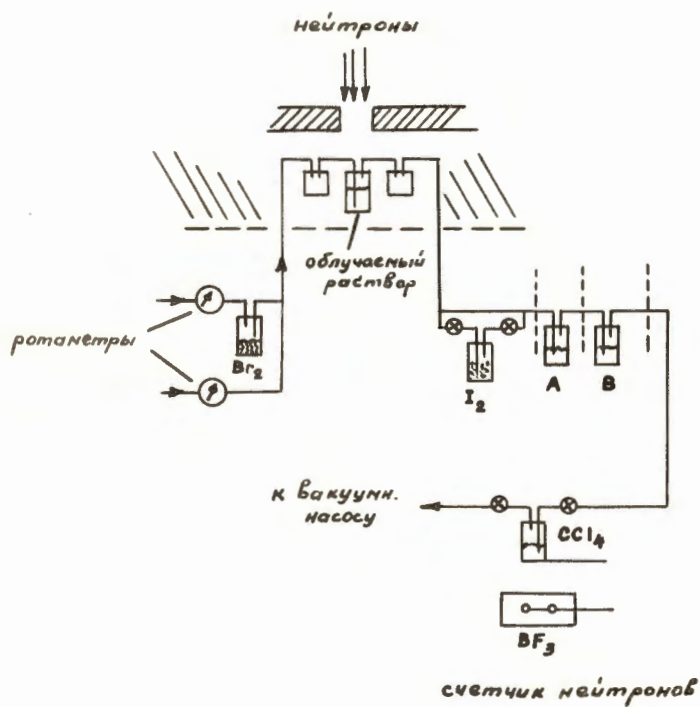
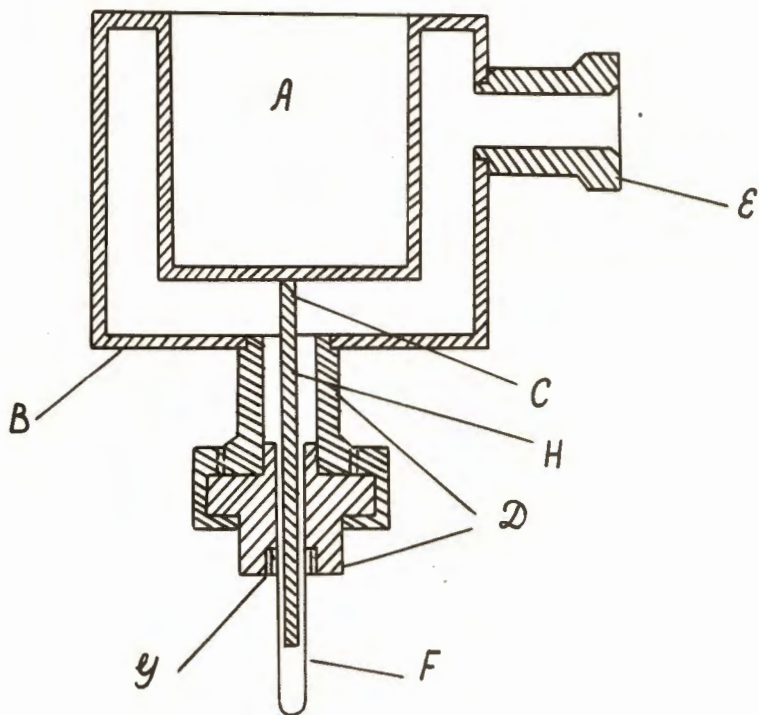


Рис.6. Схема выделения короткоживущих изотопов брома из продуктов деления урана<sup>(5)</sup>.





- A, B - сосуд Дюара*  
*C - медный стержень*  
*Д, Е - вакуумное соединение*  
*Н - стержень*  
*У - уплотнение*  
*F - кварцевая трубка*

Рис.7. Устройство для выделения радиоактивных изотопов без носителя методом фракционной возгонки<sup>(53)</sup>.

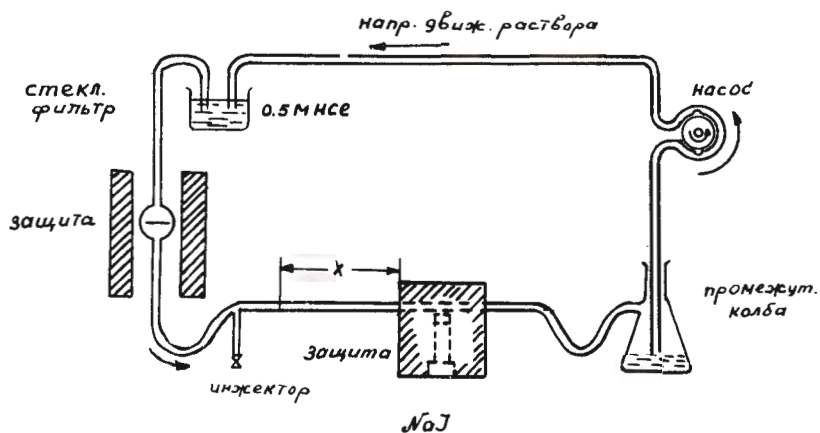


Рис. 8. Схематическая диаграмма аппаратуры для измерения периода полураспада  $Ra^{226}$  (6I).

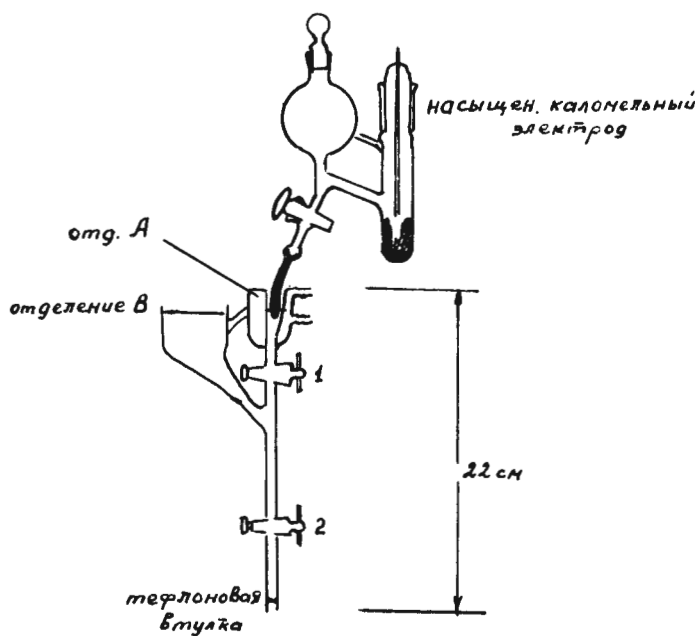


Рис. 9. Полярографическая ячейка (7I).

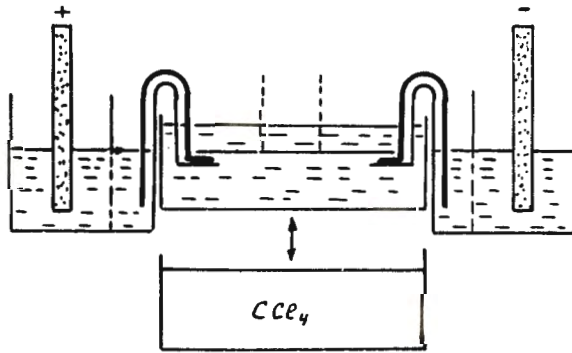


Рис.10. Схема устройства для фокусирующего ионного обмена (73).