

С 413а
3-426

21/Х1-

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1842



И.Звара, Т.С.Зварова, М.Крживанек, Ю.Т.Чубурков

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ ГАЛОГЕНИДОВ
ДЛЯ БЫСТРОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ.

II. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ
ЛЕТУЧИХ ХЛОРИДОВ Zr^{97} И $Mo^{101,102}$
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ
С ПАРАМИ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

1964

И. Звара, Т. С. Зварова, М. Крживанек, Ю. Т. Чубурков

2766/3 чр.

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ ГАЛОГЕНИДОВ
ДЛЯ БЫСТРОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ.

III ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ
ЛЕГУЧИХ ХЛОРИДОВ Zr^{97} И $Mo^{101,102}$
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ
С ПАРАМИ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Направлено в журнал "Радиохимия"

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В предыдущей работе ^{1,2/} было показано, что при торможении осколков деления урана в потоке горячего ($> 170^{\circ}$) газа (N_2 , воздух, Cl_2), содержащего пары $ZrCl_4$, при парциальном давлении около 0,1 мм рт. ст., атомы Zr^{97} с большой эффективностью транспортируются от мишени потоком этого газа. В сконденсированном $ZrCl_4$ ("носителе") был обнаружен практически весь Zr^{97} , причем в значительной степени очищенный от других продуктов деления. Авторы предположили, что атомы Zr^{97} стабилизируются в форме $Zr^{97}Cl_4$ и что, следовательно, $ZrCl_4$ является хлорирующим агентом и изотопным носителем для атомов отдачи.

Аналогичные процессы могли бы стать основой быстрых и непрерывных методов разделения продуктов ядерных реакций в газовой фазе. Для разработки таких методов необходимо изучить влияние условий опыта на образование определенных соединений атомов отдачи и на эффективность переноса молекул этих соединений потоком газа. Основными факторами, по-видимому, являются температура и состав газа.

Целью настоящей работы было изучение влияния температуры и присутствия в газовом потоке паров изотопных и неизотопных хлоридных носителей на перенос осколочных изотопов циркония, молибдена и редкоземельных элементов. В качестве носителей использовались летучие хлориды циркония, ниобия, тантала, молибдена, селена, титана и олова.

Основной определяемой величиной была "эффективность переноса" η - отношение числа атомов изучаемого радионуклида, обнаруженных в газовом потоке на определенном заданном удалении от мишени, к общему числу этих атомов, попадающих в газ из мишени.

Экспериментальная часть

Опыты проводились на установке, показанной схематически на рис. 1. В проточной фторопластовой ампуле (1) помещалась мишень (2). Мишень была изготовлена из высокообогащенного урана-235 и представляла собой слой U_3O_8 , нанесенный на слюдяную подложку и закрытый фторопластовой пленкой толщиной $1,85 \text{ мг/см}^2$. Мишень была свернута в трубку диаметром 20 мм. Ампула обогревалась электрической печью (3). Мишень облучалась нейтронами от стандартных $Fe-Be$ нейтронных источников (4); помещенных в ванны с водой (замедлитель). Поток тепловых нейтронов на мишени составлял примерно $10^5 \text{ н/см}^2 \text{ сек}$.

Опыты проводились в двух вариантах. В первом при облучении мишени нейтронами через ампулу (1) непрерывно пропускался сухой газ, содержащий пары носителя (парциальная упругость 0,5–1 мм рт.ст., если не указано другое). Для обеспечения нужной концентрации носителя газ перед поступлением в ампулу пропускался через трубку, заполненную твердым носителем (5), обогреваемую печью (6) с терморегулятором. Температура в печи (3) была всегда выше, чем в печи (6). При применении $TiCl_4$ и $SaCl_4$ в качестве носителей газ насыщался парами в охлаждаемом барботере с жидким хлоридом. Газ проходил расстояние от мишени до ловушки (7) за 18 секунд. В ловушке носитель конденсировался, а газ промывался раствором кислоты. Опыт продолжался 4–5 часов при изучении Zr^{97} и около 1 часа при работе с $Mo^{101,102}$. В конце опыта прекращалась подача газа, конденсат и промывной раствор из ловушки объединялись и количественно анализировались с помощью радиохимических методов. В специальных опытах было установлено, что в ловушке количественно задерживаются интересующие нас изотопы.

Во втором варианте опытов, ампула вначале заполнялась чистым газом и при комнатной температуре облучалась нейтронами в течение двух периодов полураспада изучаемого изотопа. Затем облучение снималось, и при нагревании через ампулу пропускался в течение 30 минут смесь газа с парами носителя, при тех же параметрах, что и в первом варианте.

Цилиндрическая форма мишени, ее диаметр и толщина инертной пленки, покрывающей слой делящегося вещества, были выбраны с таким расчетом, чтобы остаточные пробеги всех осколков, пробивающих пленку, полностью укладывались в газовое пространство ^{2/}. Поэтому общее количество атомов изучаемого изотопа, попадающее в газовый объем, можно было определить в отдельном опыте, поглощая осколки деления, вылетающие из мишени, в толстой по сравнению с их пробегом алюминиевой фольге.

Выделение и радиохимическая очистка Zr^{97} основывались на осаждении $BaZrF_6$ и минерала циркония ^{3/}. В случае изотопов молибдена использовалась экстракция бензоинноксимата молибдена этилацетатом с рекстракцией аммиаком и осаждением $PbMoO_4$ ^{4/}.

В опытах применялись технические газы: N_2 , Cl_2 , CO_2 , Ar , которые высушивались безводным $Mg(ClO_4)_2$ или возгонкой в поток газа, легко гидролизующегося хлорида носителя с последующей его конденсацией и фильтрацией газа. Азот высушивался также вымораживанием паров воды при -100° . Последние два способа, по-видимому, наиболее эффективны.

Хлориды – носители были марки "ч" или готовились из реактивов соответствующей чистоты. Проводилась добавочная очистка возгонкой в токе азота или фракционной перегонкой / $TiCl_4$, $SaCl_4$ /.

Результаты и обсуждение

Основные экспериментальные данные приведены в таблицах 1, 2 и 3. Точность определения η была около 10%, чувствительность обнаружения переноса - 5%. Как видно, применяемые газы, в частности чистый хлор, сами по себе оказались неэффективными для переноса изотопов Zr и Mo . В то же время среди изучаемых хлоридов имеется целый ряд неизотопных хлоридных носителей, в присутствии которых атомы Zr и Mo при 180° практически количественно переносятся газовым потоком, также как при применении изотопных носителей. Есть, однако, хлориды, с которыми перенос идет не полностью или вовсе не идет. Так, например, $Mo^{101,102}$ лишь частично переносится с парами $TiCl_4$ и $SrCl_4$, а Zr^{97} совсем не транспортируется этими хлоридами, а также четыреххлористым селеном.

Эффективность переноса Zr^{97} с $NbCl_5$ и другими хлоридами не зависит от природы используемого газа (таблица 1), и, по-видимому, это общая закономерность. На примере переноса Zr^{97} с $NbCl_5$ (таблица 1) и $Mo^{101,102}$ с парами $TiCl_4$ (рис. 2) видно, что η резко зависит от температуры газового тракта. Следует еще отметить, что перенос $Mo^{101,102}$ с парами $TiCl_4$ при 180° падает на ~30% при уменьшении парциального давления $TiCl_4$ в газе с 2,5 до 0,75 мм рт. ст.

Ни при каких условиях не наблюдался перенос изотопов редкоземельных элементов.

Полученная в настоящей работе совокупность экспериментальных данных не позволяет сделать однозначные выводы о механизме переноса атомов отдачи газовым потоком. Можно только высказать некоторые предположения о микроскопической картине изучаемого процесса, с помощью которой можно было бы объяснить наблюдаемые закономерности.

Мы считаем, что хлоридные носители (а также свободный хлор, если он присутствует) действуют на атомы отдачи как хлорирующие агенты и при реакции образуются молекулы высших хлоридов данных элементов, такие как $Zr^{97}Cl_4$ (т. возг. 331°), $Mo^{101,102}Cl_5$ (т. кип. 268°), $LaCl_3$ (т. кип. 1750°) и т.п. Мы предполагаем, далее, что это взаимодействие протекает быстро по сравнению с продолжительностью наших опытов. Более подробно процесс хлорирования будет обсуждаться ниже.

Соединения $ZrCl_4$ и $MoCl_5$ сравнительно летучи, но даже молекулы гораздо менее летучих соединений не должны конденсироваться на стенках аппаратуры и должны были бы переноситься потоком газа, так как их парциальное давление, рассчитанное по количеству осколков деления, было в наших опытах порядка 10^{-15} мм рт. ст. Очевидно, основным фактором, снижающим эффективность переноса с неизотопными носителями, является адсорбция молекул микрокомпонента на стенках аппаратуры. Как известно, молекула адсорбируется практически при каждом столкновении со стенкой, причем

Таблица 1

Перенос Zr^{97} с хлоридными носителями при непрерывном пропускании газовой смеси во время облучения

Носитель	Газ	Температура в ампуле °C	Эфф. переноса, %	Темп. кипения (возгонки) носителя, °C	Теплота возгонки испарения, ккал/моль	
$ZrCl_4$	Cl_2	180	100	возг. 331	24,7 ^{/5/}	15,7 ^{/5/}
	N_2	180	100		26,4 ^{/8/}	
	CO_2	180	100			
$MoCl_5$	Cl_2	180	30-80 ^{x)}	268	18,3 ^{/11/}	
	CO_2	180	60 ^{x)}		21,7 ^{/12/}	13,9 ^{/12/}
$NbCl_5$	Cl_2	180	100	248	20,7 ^{/7/}	13,7 ^{/7/}
	Cl_2	156	30			12,6 ^{/8/}
	N_2	180	100			
	N_2	156	30			
	CO_2	180	100			
	Ar	180	100			
$TaCl_5$	N_2	180	100	234	21,3 ^{/10/}	13,1 ^{/8/}
	CO_2	180	100		22,7 ^{/9/}	14,9 ^{/9/}
$SeCl_4$	Cl_2	180	5 ^{x)}	возг. 191	-	-
	N_2	180	0 ^{x)}			
$TiCl_4$ ^{xx)}	N_2	180	0 ^{x)}	136	-	8,4 ^{/14/}
	N_2	156	0 ^{x)}			
	Cl_2	180	0 ^{x)}	хлор-34	-	-
	Cl_2	20	0 ^{x)}			

x) Весь оставшийся Zr^{97} переходит в конденсат при последующем пропускании паров $NbCl_5$, $TaCl_5$ или $ZrCl_4$.

xx) Парц. упругость пара 2 мм рт. ст.

Т а б л и ц а 2

101,102
 Перенос Mo с хлоридными носителями при непрерывном пропускании газовой смеси во время облучения

Носитель	Газ	Температура в ампуле, °C	Эффективность переноса, η %
MoCl ₅	N ₂	180	100
	Cl ₂	180	100
ZrCl ₄	N ₂	180	100
	Cl ₂	180	100
TaCl ₄	N ₂	180	100
SeCl ₄	Cl ₂	180	90
	N ₂	180	100
TiCl ₄ ^{x)}	N ₂	180	65 ± 10
	N ₂	20	25
	Cl ₂	180	60
	Cl ₂	20	20
SnCl ₄ ^{xx)}	Cl ₂	180	50
	Cl ₂	20	20
	N ₂	180	0
	Cl ₂	180	0

x) Парциальная упругость пара 2 мм рт. ст.

xx) Парциальная упругость пара 4 мм рт. ст.

Т. кап. 113°, L = 18,3 ккал/моль /14/.

Таблица 3

Перенос Zr^{97} с хлоридными носителями при пропускании паров носителя после предварительного накопления активности

Газ в ампуле при облучении (комн. темп.)	Условия переноса			Эффективность переноса, %
	Носитель	Газ	Темп., °C	
Cl ₂	ZrCl ₄	N ₂	180	100
N ₂	ZrCl ₄	N ₂	180	100
N ₂	MoCl ₅	N ₂	180	80
Cl ₂	NbCl ₅	N ₂	180	90
N ₂	NbCl ₅	N ₂	180	100
N ₂	NbCl ₅	Cl ₂	158	30
N ₂	TiCl ₄	N ₂	180	0

Парциальная упругость пара 2 мм рт.ст.

среднее время задержки на поверхности r_a равно

$$r_a = r_0 e^{\frac{Q_a}{RT}} \quad (1)$$

где Q_a - теплота адсорбции молекулы и r_0 - период колебания адсорбированной молекулы в направлении, перпендикулярном к поверхности, который зависит от природы адсорбента и адсорбата. Его порядок 10^{-12} - 10^{-14} сек /15, стр. 43/.

На любой поверхности имеется некоторое количество особо активных центров, на которых величина Q_a значительно превышает ее минимальное значение, обычно близкое к теплоте испарения адсорбата L . Время задержки молекулы в адсорбированном состоянии на таких участках может быть значительным. Если принять наиболее часто встречающееся значение $r_0 = 10^{-13}$ сек, то, например, при $T = 450^\circ\text{K}$ и $Q_a = L_{ZrCl_4} = 16$ ккал/моль, время $r_a = 10^{-6}$ сек, а при $Q_a = 32$ ккал/моль $r_a = 100$ сек.

При движении от мишени до ловушки молекулы испытывают 10^5 - 10^6 столкновений со стенками. Следовательно, общее время задержки может существенно превышать продолжительность опыта, и тогда переноса активности в ловушку не будет. В присутствии носителя поверхность в той или иной степени покрыта слоем его адсорбированных молекул. Предположим, что адсорбция носителя на каждой совокупности участков с одинаковой величиной Q_a следует изотерме Ленгмюра. Молекулярно-кинетический вывод изотермы приводит к следующей формуле для θ - степени покрытия поверхности:

$$\theta = \frac{\frac{\alpha r_s}{\sigma_0}}{1 + \frac{\alpha r_s}{\sigma_0}} \quad (2)$$

где α - частота ударов молекул о поверхность (молекула/см² сек) и σ_0 - максимальная емкость мономолекулярного слоя (молекула/см²), /18, стр. 170/

Для доли непокрытой поверхности при θ , близком к 1, получаем

$$1 - \theta = \frac{\sigma_0}{\alpha r_s}$$

Так, если взять в качестве носителя NbCl₅ с парциальным давлением пара 0,1 мм рт. ст., при T = 450°K из участков с Q_{NbCl₅} = 2L_{NbCl₅} = 28 ккал/моль останется непокрытой 10⁻⁴ часть. Это означает, что активные центры адсорбции в значительной степени "обезврежены", так как при столкновении с адсорбированным слоем молекул носителя молекулы микрокомпонента адсорбируются во втором слое, а в этом случае теплота адсорбции всегда близка к теплоте испарения.

Из таких представлений следует, во-первых, что η должно возрастать при увеличении парциального давления паров носителя. Это согласуется с отмеченными выше результатами по переносу Mo^{101,102} с TiCl₄. Далее, природа носителя должна сказываться на степени покрытия поверхности и, следовательно, на теплоте адсорбции его молекул. Можно считать, что Q_s изменяется симбатно с теплотой испарения адсорбата. Поэтому при прочих равных условиях менее летучие хлориды с большим L должны быть более эффективными носителями. Это согласуется с данными таблиц 1-3, где в ряду носителей по возрастанию летучести обнаруживается падение η . При этом в случае Zr⁹⁷ эффективность переноса падает при более высоких значениях температуры кипения и L носителя, чем при переносе Mo^{101,102}. Действительно, из-за меньшей адсорбируемости MoCl₅ по сравнению с ZrCl₄ количество опасных центров на поверхности должно быть для MoCl₅ ниже, и, следовательно, эффективными носителями для Mo могут быть хлориды, неэффективные в случае Zr.

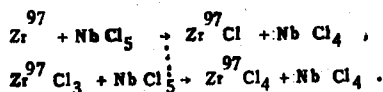
С изложенными представлениями согласуется также тот факт, что после опытов с неэффективными для Zr⁹⁷ носителями накопленную активность Zr⁹⁷ можно было перенести в ловушку пропуская паров NbCl₅, TaCl₅ или ZrCl₄.

Ход зависимости эффективности переноса от температуры должен быть результатом двух противоположных тенденций. При повышении температуры, с одной стороны, согласно (1) уменьшается r_s , и за счет этого η должна возрастать. С другой стороны, уменьшается θ согласно уравнению (2), что увеличивает вероятность попадания микрокомпонента на активные центры адсорбции и приводит к снижению η . Температурная зависимость η будет, очевидно, определяться такими факторами, как распределение участков поверхности по теплотам адсорбции, состояние вещества в адсорбированном слое, распределение молекул микрокомпонента по числу столкно-

взвешивания со стенками и др. Расчет не удается выполнить из-за отсутствия необходимых данных. На опыте же наблюдалось, как правило, возрастание η с увеличением рабочей температуры. В случае переноса $\text{Mo}^{101,102}$ с TiCl_4 и SnCl_4 после первоначального возрастания η с температурой выше 200° наступает резкое падение эффективности переноса. Не исключено, однако, что это явление вызвано "посторонними" причинами. Известно, например, что выше 200° MoCl_5 диссоциирует с образованием менее летучего MoCl_4 /11,12/ с температурой кипения 322° .

Рассмотрим более подробно реакцию хлорирования атомов отдачи. Возможно, что при торможении осколков деления в хлорсодержащих газах (первый вариант опытов) реакция хлорирования или ее начальные стадии являются горячими процессами. Но во втором варианте опытов, очевидно, летучее соединение образуется из замедленных атомов отдачи, не обладающих уже избыточной энергией, приобретаемой в результате ядерного превращения. Надо отметить, что закономерности изменения эффективности переноса Zr^{97} в пределах точности определения совпадают в обоих вариантах опытов (таблицы 1 и 3). Был также проведен опыт по переносу предварительно накопленного Mo со смесью $\text{MoCl}_5 + \text{Cl}_2$, который дал результат $\eta = 100\%$ (сравни табл. 2).

Механизм реакции хлорирования, например образование $\text{Zr}^{97}\text{Cl}_4$, можно себе представить как последовательность стадий типа



Не исключено, что в одной стадии передается больше чем один атом хлора. Реакции, аналогичные первой стадии, т.е. восстановление высшего хлорида металлом, хорошо известны и иногда используются для синтеза низших хлоридов /6,7/.

Так как в данном случае меченая молекула является микрокомпонентом, реакция с хлоридом - носителем должна практически необратимо идти вправо даже при малой константе равновесия. При таком чисто термодинамическом рассмотрении действительно любой из применяемых хлоридов - носителей способен хлорировать атом отдачи.

Но если какая-нибудь из стадий является медленной по сравнению с продолжительностью опыта, тогда летучее (слабо адсорбирующееся) соединение не успеет образоваться и переноса микрокомпонента не будет.

В бимолекулярной реакции концентрация непрореагировавших молекул микрокомпонента падает во времени экспоненциально, так как реакция псевдомономолекулярна. Среднее время τ , за которое прореагирует молекула

$$\tau = \frac{1}{n Z P} e^{\frac{E_{\text{акт}}}{RT}}$$

где ν - концентрация носителя моль $л^{-1}$, Z - число двойных столкновений моль $л^{-1} сек^{-1}$,
 P - стерический фактор. Как известно, $ZP \leq 10^{10}$, откуда

$$r > \frac{3 \cdot 10^{-6}}{P} e^{\frac{E_{акт}}{RT}}$$

где P - упругость пара носителя мм рт.ст.

Кинетический фактор должен сказываться на величине η , когда r сравнимо с длительностью опыта t . Условно запишем $r \geq t$. Это имеет место, когда

$$\frac{E_{акт}}{RT} > 13 + \ln(t + p),$$

и при $t = 10^3$ сек и $T = 450^\circ K$ получаем

$$E_{акт} > 20 \text{ ккал/моль.}$$

Данных о $E_{акт}$ для предполагаемых реакций нет. Если эти реакции экзотермические то, по-видимому, $E_{акт}$ существенно ниже указанного "опасного" предела, так как в реакциях участвуют свободные радикалы. Для эндотермических реакций $E_{акт} \geq \Delta H$ и поэтому, если для какой-либо стадии $\Delta H > 20$ ккал/моль, летучее соединение не будет образовываться с достаточной скоростью. Имеющиеся термодинамические данные для низших хлоридов переходных элементов во многих случаях недостаточно надежны. По оценкам, в изучаемых нами системах микрокомпонент-носитель нет случая очевидного превышения указанного предела ΔH .

97

Некоторое представление о скорости образования $ZrCl_4$ можно получить в опытах с предварительным накоплением активности в отсутствие носителя. Уже при 30-секундном пропускании паров $ZrCl_4$ в конденсат переходила существенная доля накопленного Zr^{97} . Сложные условия течения газа в ампуле затрудняли определение скорости образования $Zr^{97}Cl_4$ по накоплению изотопа в конденсате, так как поступление Zr^{97} в газовую струю может определяться не кинетикой реакции, а скоростью диффузии в объеме ампулы. Во всяком случае видно, что реакция протекает за несколько секунд или быстрее.

Этот вывод и приведенные выше оценки свидетельствуют в пользу предположения, что хлорирование атомов Zr и Mo происходит быстро во всех изученных системах и что наблюдаемые закономерности обусловлены адсорбцией молекул хлоридов. Видно, однако, что такое положение необязательно имеет место в любых комбинациях атом отдачи - носитель. Химические (кинетические) особенности, например, малая скорость реакции хлорирования или, наоборот, большая скорость конкурирующих реакций, приводящих к нелетучим формам, реакций с загрязнениями и примесями и т.д., могут в некоторых случаях препятствовать образованию молекул слабо адсорбирующегося соединения.

Следует еще отметить, что применяемые в наших опытах газы не очищались специально от кислорода. Поэтому нельзя заранее исключить возможность стабилизации ато-

мов отдачи в форме кислородсодержащих соединений. Окислы и оксихлориды циркония нелетучи. Молибден образует летучие окислы, но его оксихлориды сравнительно легко испаряются: MoOCl_4 кипит при 260° ($L = 11,7$ ккал/моль)^{18/}, MoOCl_3 при 352° ($L = 25$ ккал/моль)^{17/}, MoO_2Cl_2 возгоняется при 156° ^{18/}. Данные по переносу $\text{Mo}^{101,102}$ можно, следовательно, объяснить также переносом молекул оксихлоридов. Но возможность эффективного переноса Zr^{97} даже при большой концентрации кислорода в газе^{11/} указывает на то, что атомы Zr не стабилизируются в виде кислородсодержащих молекул.

Хлориды и оксихлориды молибдена претерпевают сложные взаимные превращения, которые еще недостаточно изучены. Возможно, что это приводит к некоторой специфиче действия MoCl_5 в качестве нейзотопного носителя. Результаты определения η при переносе Zr^{97} с MoCl_5 отличались плохой воспроизводимостью.

Мы считаем, что использованная в настоящей работе схема опыта может послужить основой для создания метода химической идентификации короткоживущих изотопов элемента 104, основанного на изучении свойств хлоридов. Новый элемент должен быть аналогом циркония и гафния и, следовательно, будет вести себя в условиях этих опытов резко отлично от актинидных элементов.

Авторы выражают глубокую благодарность члену-корреспонденту АН СССР Г.Н. Флерову за постоянное внимание и поддержку при выполнении настоящей работы.

Л и т е р а т у р а

1. И. Звара, Л.К. Тарасов, М. Крживанек, Су Хун-гуй, Т.С. Зварова, ДАН СССР, 148, 3, 557 (1963).
2. И. Звара, Т.С. Зварова, М. Крживанек, Су Хун-гуй, Л.К. Тарасов. Препринт ОИЯИ, 1006, Дубна, 1962.
3. E.P. Steinberg, Radiochemistry of Zirconium and Hafnium, NAS-NS 3011, Washington, 1960.
4. E.M. Scadden, N.E. Ballou, Radiochemistry of Molybdenum, NAS-NS 3009, Washington, 1960.
5. A.A. Palko, A.D. Ryon, D.W. Kuhn, J. Phys. Chem, 62, 3, 319 (1958).
6. Gmelins Handbuch der anorg Chem. Zirkonium, s.290, Weinheim, 1956.
7. H. Schäfer, F. Kahlenberg, Z. anorg. allg. Chem., 305, 5-6, 291 (1960).
8. J.B. Ainscough, J.W. Holtz, F.W. Trowse, J. Chem Soc., 1957, 3, 1034 (1957).
9. А.Р. Курбанов, А.В. Суворов, С.А. Шукарев, Г.И. Новиков, Ж. неорганич. химии, 9, 3, 520 (1964).
10. H. Schäfer, F. Kahlenberg, Z. anorg. allg. Chem, 305, 3-4, 175 (1960).

11. С. А. Шукарев, И. В. Василькова, Б. Н. Шарупин. Ж. общей химии, 26, 8, 2093 (1956).
12. С. А. Шукарев, А. В. Суворов. Вестник ЛГУ, № 1, 1, 87 (1961).
13. D.M.Yost, Ch.E.Kircher, J.Amer.Chem.Soc., 52, 12, 4680 (1930).
14. F.P.Pike, C.Foster, J.Chem Eng. Data, 4, 2, 305 (1959).
15. Я. де Бур. Динамический характер адсорбции. М., ИЛ, 1962.
16. А. В. Суворов. Диссертация. Ин-т химии силикатов АН СССР, Л., 1961.
17. И. А. Глухов, С. С. Елисеев. Ж. неорганической химии, 8, 1, 100 (1963).
18. С. А. Шукарев, И. В. Васильчикова, Б. Н. Шарупин. Вестник ЛГУ, № 22, 4, 130 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел
14 октября 1964 г.

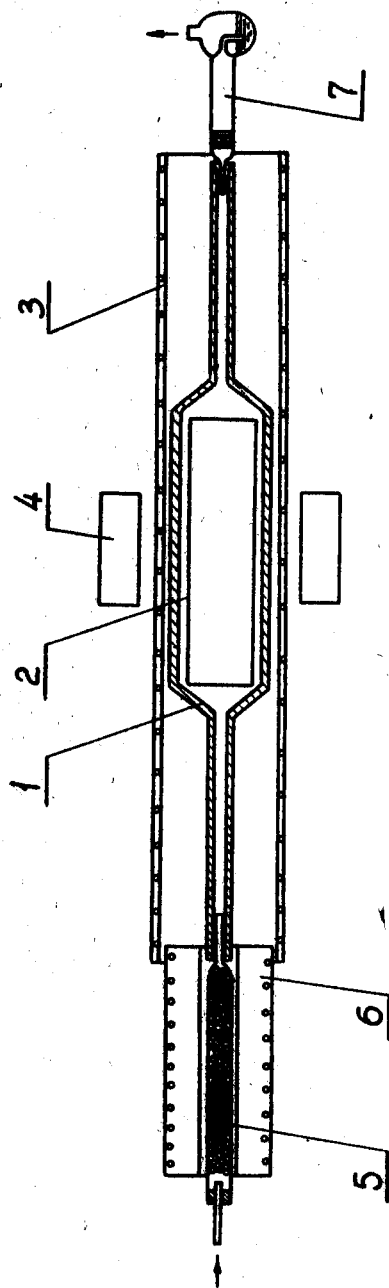
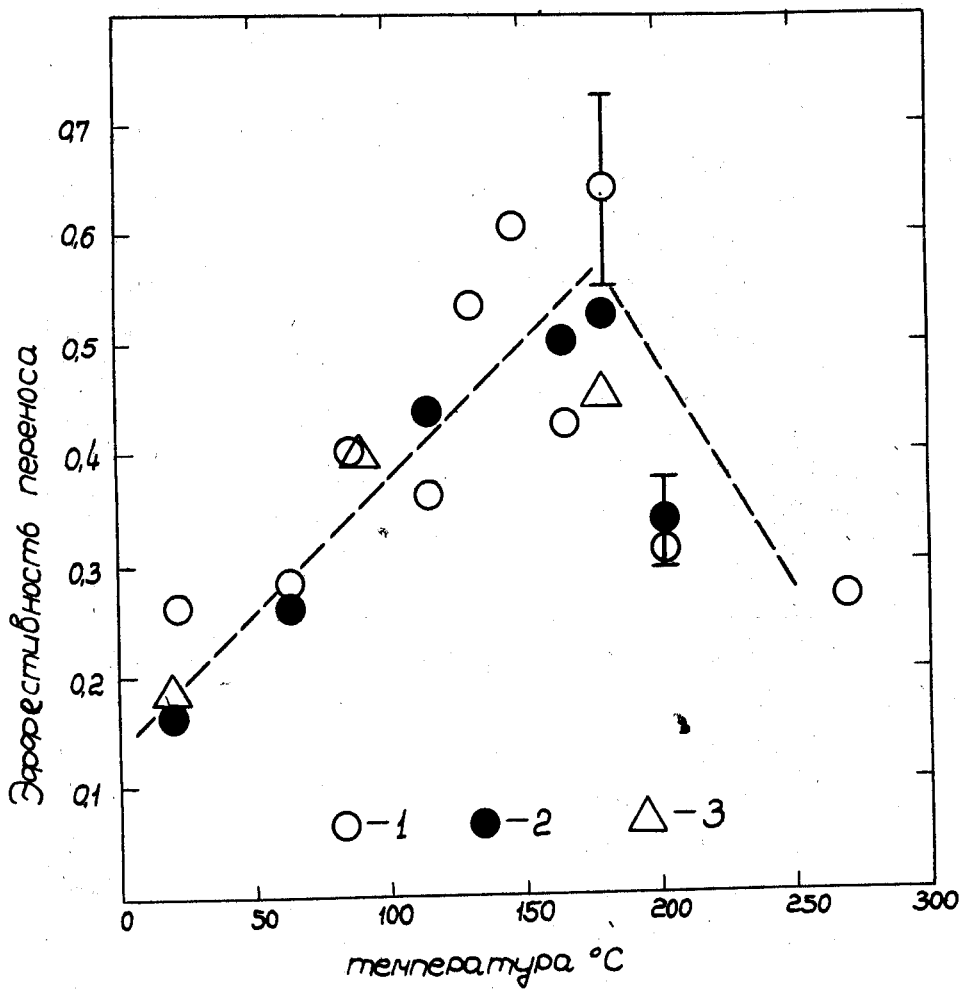


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

- 1 - фторопластовая ампула, 2 - мишень из урана-235,
 3 - электрическая печь, 4 - Ро-Be-источник нейтронов,
 5 - носитель, 6 - печь с терморегулятором, 7 - лозушка.



101,102

Рис. 2. Температурная зависимость эффективности переноса Mo при непрерывном пропускании паров носителя во время облучения. 1 - $TiCl_4$ (2 мм рт.ст.) + N_2 , 2 - $TiCl_4$ (2 мм рт.ст.) + Cl_2 , 3 - $SnCl_4$ (4 мм рт.ст.) + Cl_2 .