

1157

11  
В17



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

---

Ван Чуань-пэн, В.Н. Мехедов, В.Н. Рыбаков, Р.А. Шимчак

P-1157

ПОИСКИ ВТОРИЧНЫХ РЕАКЦИЙ  
ЗАХВАТА ДЕЙТЕРИЯ И ТРИТИЯ

*ЖЕЭТФ, 1963, т. 44, в. 6, с. 1800-1805*

Ван Чуань-пэн, В.Н. Мехедов, В.Н. Рыбаков, Р.А. Шимчак

P-1157

ПОИСКИ ВТОРИЧНЫХ РЕАКЦИЙ  
ЗАХВАТА ДЕЙТЕРИЯ И ТРИТИЯ

Направлено в ЖЭТФ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1962 год

1275/4  
28

### А н н о т а ц и я

Радиохимическим методом определены выходы тяжелых изотопов мышьяка при бомбардировке германия протонами с энергией 120, 300, 480 и 660 Мэв. С ростом энергии протонов выходы монотонно уменьшаются и заключены для ядра  $As^{74}$  в пределах 3,4-1,0 мб, для  $As^{76}$  - 1,0-0,38 мб и для  $As^{77}$  и  $As^{78}$  - 0,13-0,035 мб. Механизмом образования  $As^{74}$  и  $As^{76}$  являются, по-видимому, первичные ( $p, xn$ ) реакции. Изотоп  $As^{78}$  образуется, вероятно, за счет захвата надбарьерных ядер трития. Происхождение изотопа  $As^{77}$  более сложно. При небольших энергиях протонов (120 и 300 Мэв) он получается, в основном, по вторичным реакциям захвата ядер дейтерия и трития. При более высоких энергиях протонов подавляющая часть этого изотопа получается, по-видимому, по вторичным реакциям захвата  $\alpha$ -частиц.

Wang Chang-pen, V.N.Mekhedov,  
V.N.Rybakov, R.A.Szymczak

### SEARCH FOR SECONDARY REACTIONS OF DEUTERIUM AND TRITIUM CAPTURE

#### Abstract

The yields of heavy arsenic isotopes in the bombardment of germanium with 120, 300, 480, and 660 MeV protons have been determined by the radiochemical method. With the increasing proton energy these yields are monotonously falling, and are within 3.4 - 1.0 mb for the  $As^{74}$  nucleus, 1.0 - 0.38 mb for  $As^{76}$ , and 0.13 - 0.035 mb for  $As^{77}$  and  $As^{78}$ . The initial ( $p, xn$ ) reactions are likely to be the production mechanism of  $As^{74}$  and  $As^{76}$ . The  $As^{78}$  isotope is generated, apparently, by capturing the over-Coulomb tritium nuclei. The origin of the  $As^{77}$  isotope is more complicated. At small proton energies (120 and 300 MeV) it is produced, in the main, from the secondary reactions in which deuterium and tritium nuclei are captured. At higher proton energies the major part of this isotope is obtained, probably from the secondary reactions of  $\alpha$ -particle capture.

## В в е д е н и е

До настоящего времени в радиохимических исследованиях "вторичных" реакций<sup>/1-9/</sup> удавалось наблюдать реакции захвата надбарьерных  $\alpha$ -частиц<sup>/1-7,9/</sup> ядер лития<sup>/1-5,8,9/</sup> и иногда бериллия<sup>/2/</sup>. Представляет интерес попытаться расширить диапазон наблюдаемых реакций, в частности, изучить особенности реакций захвата надбарьерных ядер дейтерия и трития. Опыт показывает, что ядра дейтерия и трития достаточно часто испускаются с большими энергиями при бомбардировке сложных ядер сверхбыстрыми протонами<sup>/10,11/</sup>, и, следовательно, имеются возможности для осуществления вторичных реакций захвата таких фрагментов.

Как и при исследовании любых вторичных реакций здесь ожидаются малые эффекты, поэтому в таких опытах необходима высокая чистота облучаемых материалов и особая тщательность химических операций выделения и очистки. Другая трудность подобных опытов заключается в том, что наблюдению вторичных реакций захвата однозарядных фрагментов в сильной степени мешают вторичные  $(p, xn)$  реакции ( $x = 1, 2$  - число вылетающих нейтронов), выходы которых превышают сечения образования искомого продукта в 100 и более раз. Отсюда понятны специфические требования на выбор облучаемого элемента и методики регистрации продуктов реакции.

## Методика эксперимента

Мы выбрали в качестве облучаемого элемента германий, применяемый для полупроводников, из-за высокой степени чистоты этого материала. Искомым элементом в этом случае является мышьяк. Мешающие  $(p, xn)$  реакции дают нейтронодефицитные изотопы мышьяка (от  $As^{70}$  до  $As^{74}$ ), причем они образуются из всех стабильных изотопов германия, между тем, как образование тяжелых изотопов мышьяка ( $As^{76}$ ,  $As^{77}$  и  $As^{78}$ ) можно ожидать главным образом по вторичным реакциям захвата дейтерия и трития изотопами  $Ge^{74}$  и  $Ge^{76}$ . Распространенность в природе  $Ge^{74}$  и  $Ge^{76}$  составляет 36,7 и 7,7 %, соответственно, и вклады вторичных реакций могут быть еще заметными.

Препараты порошкообразного германия весом 0,2-0,5 г, завернутого в алюминиевую фольгу, облучались на внутреннем пучке протонов синхроциклотрона ОИЯИ. Изменение энергии бомбардирующих протонов достигалось установкой образца на различные радиусы орбиты протонов. Время облучения составляло обычно около 1 часа. После облучения препараты германия растворялись в царской водке, в которую предварительно вносились 10 мг  $As^V$  и удерживающие носители. Раствор переводился в солянокислый упариванием с концентрированной соляной кислотой. При этом отгонялась значительная часть германия в форме  $GeCl_4$ . Оставшийся германий экстрагировался 2-3 раза бензолом. Затем в раствор добавлялась  $HBr$  для восстановления  $As^V$  в  $As^{III}$ , и мышьяк экстрагировался бензолом<sup>/12,13/</sup>.

Из бензольного слоя мышьяк извлекался раствором гидразина и после подкисления осаждался в виде сульфида. Окончательным этапом очистки являлось получение металлического мышьяка<sup>/14/</sup>. Для измерения употреблялся металлический мышьяк, нанесенный на фильтровальную бумагу. Все операции химического выделения занимали 3-4 часа, а химический выход, как правило, составлял 30-40%.

Препараты мышьяка измерялись на торцевом  $\beta$ -счетчике с электромагнитом<sup>/15/</sup> таким образом, чтобы в счетчик отклонялась только электронная компонента испускаемого излучения. Измерения проводились при разных значениях тока электромагнита, чтобы обнаруживать электроны с различными энергиями. Прослеживался спад активности во времени для каждого выбранного значения тока. Таким образом удавалось наблюдать периоды полураспада электронов каждого из интересующих нас изотопов  $As^{74}$ ,  $As^{76}$ ,  $As^{77}$  и  $As^{78}$ . При выбранном способе регистрации возможно частичное отнесение к электронам распада тяжелых изотопов конверсионных электронов, выбрасываемых при  $\gamma$ -переходах в нейтронодефицитных изотопах. По нашему мнению, допускаемая здесь погрешность невелика, так как конверсионные электроны больших энергий (мы детектируем электроны с энергиями 0,4 Мэв и выше) у легких изотопов мышьяка относительно слабо выражены и к тому же они легко отделяются по периодам полураспада. На этом же детекторе измерялись препараты  $Na^{24}$  из алюминиевой фольги, служащей монитором пучка протонов. Препараты монитора изготовлялись путем отбора аликвотной части раствора алюминия в соляной кислоте и высушивания ее на кальке.

Кривые распада препаратов мышьяка при всех значениях тока электромагнита содержат следующие периоды: около 1,5 часа, 24-27 часов и 17-19 дней. Первый и последний периоды прослеживались на протяжении 3-х полупериодов распада, а активность с периодом 26 часов - на протяжении 5-6-ти полупериодов жизни. При малых значениях тока (0,5 и 1,0 А) был обнаружен небольшой вклад активности с периодом полураспада 38-42 часа. Определение вклада последней на фоне превосходящей ее активности с периодом 24-27 часов достигалось с помощью специального математического приема преобразования данных измерений<sup>х)</sup> интересующих нас участков кривых распада, который позволяет лучше выявить требуемую компоненту. Математическому преобразованию подвергались кривые распада, измеренные при малых значениях тока (0-2,0 А). Перечисленные активности однозначно<sup>/16/</sup> отождествляются, как изотопы  $As^{78}$ ,  $As^{76}$ ,  $As^{74}$  и  $As^{77}$ , соответственно. Идентификация наблюдаемых активностей подтверждается специальными измерениями спектров конверсионных электронов препарата мышьяка<sup>хх)</sup>, сделанных тотчас после химического выделения. В диапазоне энергий 500-650 Кэв обнаружены следующие отчетливо различимые друг от друга пики с энергиями: 555 Кэв ( $As^{76}$ ); 580 Кэв ( $576 \text{ Кэв } Ge^{69} + 596 \text{ Кэв } As^{74}$ ) и 612 Кэв ( $As^{78}$ ). Имеется указание на существование пика 525 Кэв ( $As^{77}$ ).

х) Прием математического преобразования состоит в следующем: пусть имеем кривую распада  $A(t) = Ak \exp(\lambda_k t) + An \exp(-\lambda_n t)$  (1), где  $Ak$  и  $An$  - начальные активности компонент  $k$  и  $n$ , которые требуется определить;  $\lambda_k$  и  $\lambda_n$  - константы распада. Умножаем (1) на  $\exp(\lambda_k t)$  тогда  $A(t) \exp(\lambda_k t) = Ak + An \exp[(\lambda_k - \lambda_n) t]$  (2). Обозначим  $A(t) \exp(\lambda_k t) = y$  (3)  $\exp[(\lambda_k - \lambda_n) t] = x$  (4). Получаем на плоскости  $x$  и  $y$  уравнение прямой  $y = Ak + Ax$ , пересекающей ось ординат при значениях  $y = Ak$ , а  $An$  - представляет собой тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс.

хх) Мы приносим благодарность сотруднику ОИЯИ Ж. Желеву, выполнившему измерения спектров конверсионных электронов мышьяка на  $\beta$ -спектрометре.

Выходы перечисленных изотопов мышьяка рассчитывались аналогично /17/ с учетом времени облучения и распада препарата после облучения, а также химических выходов. В качестве исходных активностей для расчета выхода отдельных компонент принимались площади под кривыми изменения числа отсчетов детектора в данный момент времени в зависимости от величины тока в электромагните. Эти кривые находились путем разложения на составляющие периоды общих кривых спада со временем числа отсчетов детектора при соответствующем значении тока. Интервал изменения тока в электромагните составлял от 0 до 3 или 5 А. В указанных интервалах тока электронное излучение  $As^{77}$ ,  $As^{74}$  и  $Na^{24}$  (граничная энергия  $\leq 1,4$  Мэв) полностью отклонялось электромагнитом в детектор и определения выходов перечисленных изотопов мышьяка делались вполне надежно. Активности  $As^{76}$  и  $As^{78}$  просчитывались в нашем измерительном устройстве не полностью, так как в спектре излучений данных изотопов имеется значительная доля жестких электронов (3 и 4,1 Мэв), не отклоняемых в детектор при максимально допустимых величинах тока электромагнита. Поэтому первоначальные активности  $As^{76}$  и  $As^{78}$  было необходимо увеличивать на коэффициенты, равные 1,8 и 2,3, соответственно. Поправочные коэффициенты оценивались из величин средних энергий электронов, испускаемых тем или иным изотопом. При расчете выхода  $As^{77}$  вводились поправки на самопоглощение и поглощение  $\beta$ -частиц в поверхностном покрытии препарата, окне счетчика и слое воздуха ( $k = 1,8$ ).

#### Результаты опыта

Идентифицированные тяжелые изотопы мышьяка и их сечения образования приведены в таблице 1. В каждом случае дается среднее из 2-х, а иногда из 3-х определений. В большинстве опытов результаты отдельных измерений согласуются друг с другом в пределах  $\pm 25\%$ . Только в одном случае (выход  $As^{76}$  при энергии 660 Мэв) они различаются между собой на  $\pm 40\%$ . Тем не менее по ряду причин мы рекомендуем рассматривать приводимые абсолютные сечения верными в пределах коэффициента 2. Там же указываются возможные реакции образования перечисленных изотопов мышьяка и приводятся их ожидаемые вклады, согласно распространенностей исходных ядер. Среди возможных реакций мы указываем первичные реакции ( $p, xn$ ) на бомбардирующих протонах (подчеркнуто) и вторичные реакции захвата  $\alpha$ -частиц, дейтерия и трития, сопровождаемые испусканием нуклонов. Ввиду малого выхода /18-21/ не учитываются вторичные реакции радиационного захвата перечисленных частиц, а также реакции захвата ядер  $He^3$ .

Как видно из таблицы, с наибольшим выходом образуется изотоп  $As^{74}$ . Сечение образования  $As^{76}$  примерно в три раза меньше, а выходы  $As^{77}$  и  $As^{78}$  почти равны друг другу и на порядок ниже, чем выход  $As^{76}$ . С уменьшением энергии протонов сечение образования всех наблюдаемых ядер уменьшается одинаково.

Сравнивая между собой экспериментальные и ожидаемые выходы у  $As^{74}$ , а также у  $As^{76}$ , мы видим, что они близки друг к другу и показывают примерно одинаковую зависимость с увеличением энергии протонов. Особенно хорошее согласие имеется у  $As^{74}$ , где расхождение между ожидаемыми и наблюдаемыми сечениями нигде не превышает коэффициент 2. Такое расхождение является вполне приемлемым и может обуславливаться с одной

Т а б л и ц а 1

Энергия протонов Мэв	Сечение образования в мб							
	$As^{74}$		$As^{76}$		$As^{77}$		$As^{78}$	
	экспер.	ожд.	экспер.	ожд.	экспер.	ожд.	экспер.	ожд.
120	$3,4 \pm 0,8$	$4,8^{a, \Gamma)}$ $7,4^{\Delta)}$	$1,0 \pm 0,15$	$0,9^{a, \Gamma)}$ $1,1^{\Delta)}$ $0,9^{\text{б)}} 0,5^{\text{в)}} \approx$	$0,1$	-	$0,13 \pm 0,045$	-
300	$2,8 \pm 0,9$	$1,7^{\Gamma, a)}$ $3,0^{\Delta)}$	$0,83 \pm 0,2$	$0,3^{\Gamma, a)}$ $0,5^{\Delta)}$	$\approx 0,08$	$< 0,035$ $\pm 0,038^e)$	$0,095 \pm 0,021$	$0,003^{\text{ж)}} < 0,015^{\text{з)}})$
480	$1,6 \pm 0,4$	$0,8^{\Gamma)}$	$0,52 \pm 0,13$	$0,2^{\Gamma)}$	$\approx 0,07$	-	$0,073 \pm 0,016$	-
660	$1,0 \pm 0,6$	$0,6^{\Gamma)}$	$0,38 \pm 0,13$	$0,1^{\Gamma)}$	$\approx 0,04$	-	$0,035 \pm 0,007$	-
Возможные реакции образования	$^{74}Ge(p, n)$ $^{76}Ge(p, 3n)$	$^{76}Ge(p, n)$	$^{76}Ge(p, d, n)$ $^{76}Ge(p, H^3, 2n)$ $^{76}Ge(p, \alpha, p, 2n)$ $^{76}Ge(p, \alpha, p)$	$^{76}Ge(p, H, n)$ $^{76}Ge(p, \alpha, p, n)$				

а) На основании выхода  $(p, n)$  реакции на  $Ga^{69}$  при энергии протонов 100 Мэв<sup>/22/</sup>.

б) На основании выхода  $(p, n)$  реакции на  $Zn^{66}$  при энергии протонов 100 Мэв<sup>/22/</sup>.

в) На основании выхода  $(p, n)$  реакции на  $Cu^{63}$  при энергии протонов 100 Мэв<sup>/23/</sup>.

г) Согласно выхода  $(p, xn)$  реакций на  $Ga^{69}$  при энергиях 0,5; 1,5 и 2,9 Бэв<sup>/24/</sup>.

д) Согласно выхода  $(p, xn)$  реакций на  $Y^{89}$  при энергиях 100-240 Мэв<sup>/25/</sup>.

е) Является суммой оценочных выходов вгоричных  $[p(\alpha, p)]$  и  $[p(\alpha, p, 2n)]$  реакций, составляющих 0,028 и 0,007-0,010 мб, соответственно. При определении выхода  $[p(\alpha, p)]$  реакции использована величина сечения  $[p(\alpha, n)]$  на меди при энергии 340 Мэв<sup>/1/</sup>, равная 0,01 мб, а также отношение интегральных выходов  $(\alpha, p)$  реакций на  $Zn^{64}/20/$ , равное 2,4. При оценке выхода  $[p(\alpha, p, 2n)]$  реакции принято, что доля  $(\alpha, pn)$  реакции составляет не более 1/3 от сечения  $[p(\alpha, n)]$  реакции на меди, а отношение интегральных выходов  $(\alpha, p, 2n)$  реакций на  $Zn^{64}$  равно 10<sup>/20/</sup>.

ж) Оценка выхода  $[p(\alpha, pn)]$  реакции с использованием сечения  $[p(\alpha, 2n)]$  реакции на меди<sup>/1/</sup>, равного 0,006 мб, и отношения интегральных выходов  $(\alpha, pn)$  реакций для случая мишени  $Ge^{70}$ , которое составляет 2<sup>/26/</sup>.

з) Верхняя граница возможного вклада  $[p(\alpha, pn)]$  реакции. Получена с использованием интегральных выходов  $\frac{(\alpha, pn)}{(\alpha, 2n)} = 10$  на  $Zn^{64}$ , согласно работе<sup>/20/</sup>.

стороны погрешностями в оценках ожидаемых выходов в зависимости от выбора типа мишени, с другой стороны - ошибками определения абсолютных сечений в наших опытах. У  $As^{76}$  лучшее согласие наблюдается при малых энергиях протонов (оно также не превосходит коэффициент 2). При более высоких энергиях (480 и 660 Мэв) экспериментальные выходы существенно превосходят ожидаемые по реакции  $(p,n)$  для галлиевой мишени. Отсюда можно сделать вывод, что изотопы  $As^{74}$  и  $As^{76}$  образуются в наших опытах главным образом в первичных реакциях типа  $(p,xn)$ . Заметное преобладание экспериментальных сечений  $As^{76}$  при более высоких энергиях протонов может быть вызвано все возрастающими вкладами вторичных реакций захвата надбарьерных фрагментов <sup>/1-7/</sup>, число возможных каналов которых достаточно велико. Однако полностью относить это преобладание за счет вклада вторичных реакций нельзя и следует иметь в виду возможные особенности течения  $(p,n)$  реакции на  $Ge^{76}$  по сравнению с ходом ее на изотопе  $Ge^{69}$ .

Более тяжелые изотопы ( $As^{77}$  и  $As^{78}$ ) образуются, по-видимому, во вторичных реакциях захвата надбарьерных фрагментов. Для изотопа  $As^{77}$  при различных энергиях протонов одинаково возможны как вторичные реакции захвата дейтерия и трития, так и вторичные  $[p(a,pxn)]$  реакции. К сожалению, прямые измерения выходов последних вообще отсутствуют и нам трудно точно разделить их вклады. Пользуясь данными о  $[p(a,xn)]$  реакции на меди <sup>/1/</sup> и отношениями интегральных выходов  $\frac{(a,pxn)}{(a,xn)}$  реакций на близких к нашему случаю мишенях, можно оценить вклады  $[p(a,pxn)]$  реакций на некоторых изотопах германия при энергии 300 Мэв. В случае  $As^{77}$  оценка показывает, что выход этих реакций не превосходит 42-45% от наблюдаемого выхода изотопа при соответствующей энергии протонов, а скорей всего меньше. Поскольку выходы  $[p(a,xn)]$  реакций монотонно растут с увеличением энергии <sup>/3,4,7/</sup>, то для энергии протонов 120 Мэв вклады  $[p(a,pxn)]$  реакций должны быть примерно в 2 раза меньше, а для 660 Мэв в 2 раза больше, чем для энергии 300 Мэв. Таким образом вклад конкурирующих вторичных реакций захвата  $\alpha$ -частиц для 120 Мэв ожидается не более 20% от наблюдаемого сечения  $As^{77}$ , в то время как для 660 Мэв он может целиком объяснить образование данного изотопа. Это дает основание рассматривать выход  $As^{77}$  при энергии 660 Мэв в качестве верхней границы суммы сечений  $[p(a,p)]$  и  $[p(a,p2n)]$  реакций на изотопах  $Ge^{74}$  и  $Ge^{76}$ .

В образовании изотопа  $As^{78}$  участвует меньшее количество каналов. Он получается главным образом за счет вторичных реакций захвата надбарьерных ядер трития. Вклад конкурирующей реакции захвата  $\alpha$ -частиц типа  $[p(a,pn)]$  невелик. Для энергии 300 Мэв он оценивается <sup>/1,26/</sup> около 0,003 мб, а согласно менее строгой оценке <sup>/1,20/</sup>  $< 0,015$  мб, т.е. около 3% и не более 16% от наблюдаемого выхода  $As^{78}$ .

Для энергии протонов 120 и 660 Мэв вклад рассматриваемой конкурирующей реакции оценивается около 1 и 17%, соответственно, от наблюдаемых выходов  $As^{78}$ .

Отсюда вытекает, что с увеличением энергии протонов имеет место более сильное уменьшение выходов вторичных реакций захвата дейтерия и трития по сравнению с наблюдаемыми выходами  $As^{77}$  и  $As^{78}$ . Непосредственные измерения выходов дейтронов с кинетическими энергиями  $> 50$  Мэв из углерода при бомбардировке протонами с энергией 95 Мэв <sup>/27/</sup> и 300 Мэв <sup>/28/</sup>, а также 660 Мэв <sup>/10/</sup> подтверждают наблюдаемую тенденцию



уменьшения выходов  $As^{77}$ . Однако говорить о наличии строгого количественного соответствия между данными для столь сильно различающихся мишеней затруднительно.

Нужно отметить, что поведение выходов вторичных реакций захвата дейтерия и трития от энергии протонов противоположно зависимостям вторичных реакций захвата  $\alpha$ -частиц, ядер лития или бериллия, для которых характерно увеличение выхода при более высоких энергиях.

Авторы благодарят Б.В.Курчатова и В.М.Мальцева за ценные замечания.

#### Л и т е р а т у р а

1. R.Batzel, D.Miller, G.T.Seaborg. Phys. Rev. 84, 671 (1951).
2. A.Turkevich, N.Sugarman. Phys. Rev. 94, 728 (1954).
3. Б.В. Курчатова, В.Н. Мехедов, Л.В. Чистяков, М.Я. Кузнецова, Н.И. Борисова, В.Г. Соловьев. ЖЭТФ, 35, 56, 1958.
4. М.Я. Кузнецова, В.Н. Мехедов, В.А. Халкин. Атомная энергия, 4, 455, 1958.
5. A.E.Metzger, J.M.Miller. Phys.Rev. 113, 1125 (1959).
6. M.Leffort, G.Simonoff, X.Tarrago. Nucl. Phys. 19, 173 (1960).
7. Ван Юн-юй, В.В.Кузнецов, М.Я. Кузнецова, В.А.Халкин. ЖЭТФ, 39, 230, 1960.
8. Ван Юн-юй, В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, В.Н. Мехедов, В.А.Халкин, ЖЭТФ, 39, 527, 1960.
9. Б.Н. Беляев, Н.С. Мальцева, В.Н. Мехедов, Мин Нам Бук, Р.А. Шимчак. ЖЭТФ, 43, 1129, 1962.
10. Л.С. Ажгирей, И.К. Взорев, В.П. Зрелов, М.Г. Мещеряков, Б.С.Неганов, А.Ф. Шабудин. ЖЭТФ, 33, 1185, 1957.
11. M.Leffort, X.Tarrago, G.Simonoff, R.Bibron. Journ. Phys. Rad. 20, 959 (1959).
12. G.O.Brink, P.Kafalas, R.A.Sharp, E.L.Weiss, J.W.Irvine. Jour. An. Chem. Soc. 79, 1303 (1957).
13. G.H.Morrison, H.Freiser. 'Solvent Extraction in Analitical Chemistry' N. York 1957.
14. A.Kyelberg, A.C.Pappas. Inorg. Nucl. Chem. 11, 173 (1959).
15. М.Я.Кузнецова, В.Н.Мехедов. Изв. АН СССР, сер.физич., 21, 1020, 1957.
16. D.Strominger, J.M.Hollander, G.T.Seaborg. Rev. Mod. Phys. 30, 585 (1958).
17. М.Я.Кузнецова, Мин Нам Бук, В.Н.Рыбаков, В.А.Халкин. Радиохимия, 6, 755, 1961.
18. J.V.Ball, A.M.Fairhall, J.Halpern. Bull. Am. Phys. Soc. 3, 322 (1958).
19. J.W.Butler, C.R.Gosset. Phys. Rev. 108, 1473 (1957).
20. N.T.Porile. Phys. Rev. 115, 939 (1959).
21. R.W.Deutsch. Phys. Rev. 97, 1110 (1955).
22. J.W.Meadows. Phys. Rev. 98, 744 (1955).
23. J.W.Meadows. Phys. Rev. 91, 885 (1953).
24. N.T.Porile. Phys. Rev. 125, 1379 (1962).
25. A.A.Caretto Jr, E.O.Wiig Phys. Rev. 115, 1238 (1958).
26. S.Amiel. Phys. Rev. 116, 415 (1959).
27. W.Selove. Phys. Rev. 101, 231 (1956).
28. W.N.Hess. B.J.Moyer. Phys. Rev. 101, 337 (1956).

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 декабря 1962 года.