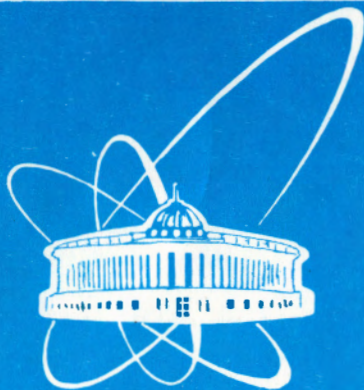


97-351



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6-97-351

Ю.П.Гангрский, В.Е.Жучко, А.Ф.Новгородов,
А.П.Тончев

ИЗОМЕРНЫЕ МИШЕНИ ВЫСОКОГО
ОБОГАЩЕНИЯ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Направлено в журнал «Радиохимия»

1997

Изомерные мишени высокого обогащения для ядерных реакций

Предлагается способ получения мишеней высокого обогащения из ядер в изомерном состоянии с большим спином. При этом в мишени отсутствуют ядра этого изотопа в основном состоянии из-за их малого времени жизни. Описывается реализация этого способа на примере высокоспиновых изомеров ^{108m}Ag ($I^\pi = 6^+$, $T_{1/2} = 418$ л) и ^{166m}Ho ($I^\pi = 7^-$, $T_{1/2} = 1200$ л).

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им.Г.Н.Флерова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1997

Перевод авторов

Gangrsky Yu.P. et al.

P6-97-351

Isomeric Targets of High Enrichment for the Nuclear Reactions

It is proposed the method of production of the high enrichment targets containing the high spin isomeric nuclei. The nuclei of this isotope in the ground state are absent since their half-lives are short. The realization of this method for the high spin isomers ^{108m}Ag ($I^\pi = 6^+$, $T_{1/2} = 418$ y) and ^{166m}Ho ($I^\pi = 7^-$, $T_{1/2} = 1200$ y) is described.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

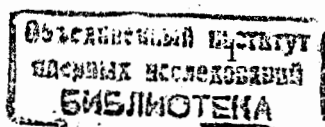
ВВЕДЕНИЕ

Ядерные реакции являются одним из основных источников сведений о структуре ядра и характере взаимодействий между входящими в его состав нуклонами. В этих реакциях используется широкий набор бомбардирующих частиц — от элементарных частиц (фотон, электрон) до сложных ядер. В последние годы к ним добавились и радиоактивные ядра, лежащие на границе нуклонной стабильности и имеющие низкую энергию связи последнего протона или нейтрона (менее 1 МэВ). Исследования реакций с такими ядрами позволяют в ряде случаев выявить новые особенности ядерной структуры. Например, в реакциях, вызываемых ^{11}Li , было обнаружено необычно широкое радиальное распределение нейтронов в этом ядре (нейтронное гало). Есть указания, что такие необычные распределения протонов или нейтронов существуют в ряде других ядер [1].

Использование таких необычных ядер не только в качестве бомбардирующих частиц, но и мишеней, очевидно, существенно расширит возможности исследования их структуры. Однако к мишеням предъявляются более жесткие требования в отношении их времен жизни (изготовление мишеней требует, как правило, значительно большего времени, чем получение пучков ускоренных ядер). Это исключает использование в качестве мишеней отмеченных выше короткоживущих ядер с необычным распределением нуклонов.

Интересным и перспективным направлением является использование мишеней из ядер, находящихся в изомерном состоянии с большим значением спина. Структура этих изомеров существенно влияет как на механизм реакции, так и на свойства образующихся в них ядер. Целый ряд высокоспиновых изомеров имеет большие времена жизни, и это позволяет накопить их в количествах, достаточных для приготовления мишеней. Примером такого изомера является ^{178m}Hf с $I^\pi = 16^+$ и $T_{1/2} = 31$ год, на котором проводятся исследования ядерных реакций с широким набором бомбардирующих частиц [2–5]. В исследованиях этих реакций использовалась мишень ^{178m}Hf толщиной в доли микрограмма на 1 см^2 .

Подобные исследования осложняются тем, что в мишени обычно присутствует значительное количество ядер не в изомерном, а в основном состоянии, которые образуются при получении изомера. Как правило, их значительно больше, чем ядер в изомерном состоянии (например, в случае указанного выше изомера ^{178m}Hf их больше в 20 раз). Присутствие этих ядер, естественно, затрудняет интерпретацию по-



лученных результатов, а в ряде случаев исключает возможности исследований редких реакций на ядрах-изомерах.

В представленной работе описывается способ получения мишеней из ядер высокоспиновых изомеров, в которых практически полностью отсутствуют эти же ядра в основном состоянии, а также реализация этого способа на ряде примеров.

1. ВЫСОКОСПИНОВЫЕ ИЗОМЕРЫ В РАДИОАКТИВНЫХ ЯДРАХ

Предложенный способ основан на получении долгоживущих высокоспиновых изомеров в радиоактивных ядрах со сравнительно короткими периодами полураспада (по крайней мере в сотни тысяч раз короче, чем у изомеров). При такой большой разнице периодов полураспада через определенное время все ядра в основном состоянии распадутся, и образец будет содержать лишь ядра в изомерном состоянии. После химической очистки от других элементов, образующихся в реакции или после β -распада основного состояния, и отделения на масс-сепараторе других изотопов этого же элемента можно получить образец, содержащий только ядра изомера.

В табл.1 перечислены характеристики радиоактивных ядер, у которых период полураспада высокоспинового изомера много больше, чем для основного состояния, а также их спектроскопические характеристики (энергия уровня E , спин и четность I^π) [6] и интенсивность β - и γ -излучения. Видно, что во всех случаях период полураспада ядер в основном состоянии достаточно мал, и они полностью распадутся через короткое время (за несколько дней). В то же время очень большие периоды полураспада изомеров (более 10 лет) позволяют накопить их в достаточных для исследований количествах при длительном облучении.

В табл.2 приведены реакции получения указанных изомеров и их сечения. Для последних использовались либо известные сечения (для всех реакций с нейтронами [7]), либо сечения образования ядер в основном состоянии [8] и изомерные отношения, рассчитанные по методу, описанному в работе [9]. Для большинства изомеров эти сечения достаточно высоки, как в реакциях с нейтронами, так и с заряженными частицами и γ -квантами. Особенно перспективны реакции с нейтронами, т.к. из-за их большого пробега можно использовать значительные массы облучаемого материала. При весе образца в несколько граммов и флюенсе тепловых нейтронов $\sim 10^{20}$ 1/см², который можно получить в результате недельного облучения на высокопоточном реакторе.

ТАБЛИЦА 1

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯДЕР С ВЫСОКОСПИНОВЫМИ ДОЛГОЖИВУЩИМИ ИЗОМЕРНЫМИ СОСТОЯНИЯМИ

Ядро	E , кэВ	I^π	$T_{1/2}$	Y_β , Бк/мг	Y_γ , Бк/мг
^{108g}Ag	0	1+	142,2 с		
^{108m}Ag	109,5	6+	418 л		$1,3 \cdot 10^6$
^{121g}Sn	0	3/2+	27,1 ч		
^{121m}Sn	6,3	11/2-	55 л	$2,9 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^6$
^{166g}Ho	0	0-	26,8 ч		
^{166m}Ho	5,0	7-	1200 л	$7,3 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^5$
^{180g}Ta	0	1+	8,1 ч		
$^{180m}Ta^*$	73,3	9-	$> 1,2 \cdot 10^{13}$ л	$< 8,9 \cdot 10^{-6}$	$< 8,9 \cdot 10^{-6}$
^{186g}Re	0	1-	90,6 ч		
^{186m}Re	150	8+	$2 \cdot 10^5$ л		$5,2 \cdot 10^2$
^{192g}Ir	0	4-	74,2 ч		
^{192m}Ir	161	9+	241 л		$4,2 \cdot 10^5$
^{242g}Am	0	1-	16,01 ч		
^{242m}Am	48,6	5-	152 л		$5,3 \cdot 10^5$

*Изомер ^{180m}Ta содержится в природном образце танталла в количестве 0,012% или $4,04 \cdot 10^{15}$ ядер в 1 мг Ta .

ТАБЛИЦА 2

РЕАКЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ВЫСОКОСПИНОВЫХ ИЗОМЕРОВ

Изомер	Реакция	Е	σ , б
^{108m}Ag	$^{107}\text{Ag}(n, \gamma)$	тепл.	1,1
	$^{108}\text{Pd}(p, n)$	12 МэВ	0,35
^{121m}Sn	$^{120}\text{Sn}(n, \gamma)$	тепл.	0,001
	$^{122}\text{Sn}(\gamma, n)$	15 МэВ	0,26
^{166m}Ho	$^{165}\text{Ho}(n, \gamma)$	тепл.	3,5
	$^{166}\text{Er}(n, p)$	14,7 МэВ	0,002
^{180m}Ta	$^{180}\text{Hf}(d, 2n)$	14 МэВ	0,15
^{186m}Re	$^{185}\text{Re}(n, \gamma)$	тепл.	0,3
	$^{186}\text{W}(d, 2n)$	14 МэВ	0,20
^{192m}Ir	$^{191}\text{Ir}(n, \gamma)$	тепл.	0,14
	$^{192}\text{Os}(d, 2n)$	14 МэВ	0,10
^{242m}Am	$^{241}\text{Am}(n, \gamma)$	тепл.	50
	$^{242}\text{Pu}(d, 2n)$	14 МэВ	0,40

можно накопить весовые количества ядер-изомеров в несколько миллиграмм.

В реакциях с заряженными частицами из-за их меньшего пробега используются образцы меньшей массы. Поэтому выход ядер-изомеров будет соответственно меньше. Однако в этих реакциях ядра-изомеры и ядра мишени относятся к разным элементам, и поэтому они могут быть выделены лишь химическими методами без использования масс-сепаратора.

Таким образом можно получить весовые количества ядер-изомеров практически без примесей ядер в основном состоянии. Из полученного таким способом образца готовится мишень, характеристики которой (размеры, толщина, подложка) определяются условиями исследуемой ядерной реакции.

2. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОМЕРОВ ^{108m}Ag И ^{166m}Ho

Описанный способ был использован для получения высокоспиновых изомеров ^{108m}Ag ($T_{1/2} = 418$ л, $I^\pi = 6^+$) и ^{166m}Ho ($T_{1/2} = 1200$ л, $I^\pi = 7^-$). В обоих случаях применялись приведенные в табл. 2 реакции (n, γ) на тепловых нейтронах. Образцы из химически чистого серебра весом 25 мг (содержание примесей $< 0,1\%$), обогащенного изотопом ^{107}Ag до 99%, и окиси гольмия (Ho_2O_3) весом 5 мг облучались в потоке тепловых нейтронов в течение нескольких дней. После облучения образцы Ho выдерживались более одного года, а образцы Ag — более 3 лет. Такая выдержка была необходима, чтобы практически полностью распались ядра ^{108}Ag и ^{166}Ho в основном состоянии, а также ядра, образующиеся в реакциях с примесями в образцах ($\text{O}, \text{Na}, \text{K}, \text{Fe}, ^{109}\text{Ag}$) и под действием быстрых нейтронов (реакции $(n, 2n)$ и (n, p)).

После такой выдержки производилась химическая очистка образцов от продуктов радиоактивного распада указанных ядер. Особое внимание уделялось отделению Pd и Cd от образца Ag и Er от образца Ho , т.к. в этих элементах имеются изотопы с тем же массовым числом, что и высокоспиновые изомеры (соответственно с $A = 108$ и $A = 166$), и они не могут быть отделены на масс-сепараторе.

Очистка образца Ag от следов Pd и Cd проводилась в кварцевой посуде с использованием бидистиллята воды и реактивов квалификации не ниже, чем х.ч. Облученный образец Ag растворялся в азотной кислоте, а затем осаждался в виде AgCl добавлением 2N раствора HCl . Образующийся осадок AgCl центрифугировался, дважды промывался бидистиллятом и растворялся в концентрированном (25%) растворе аммиака. После этого аммиак отгонялся под вакуумом, создаваемым во-

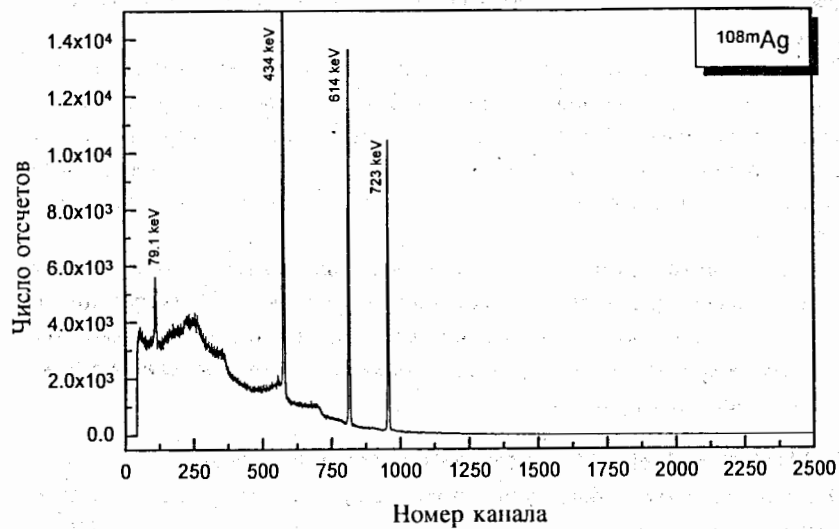


Рис.1. Спектр γ -излучения образца ^{108m}Ag

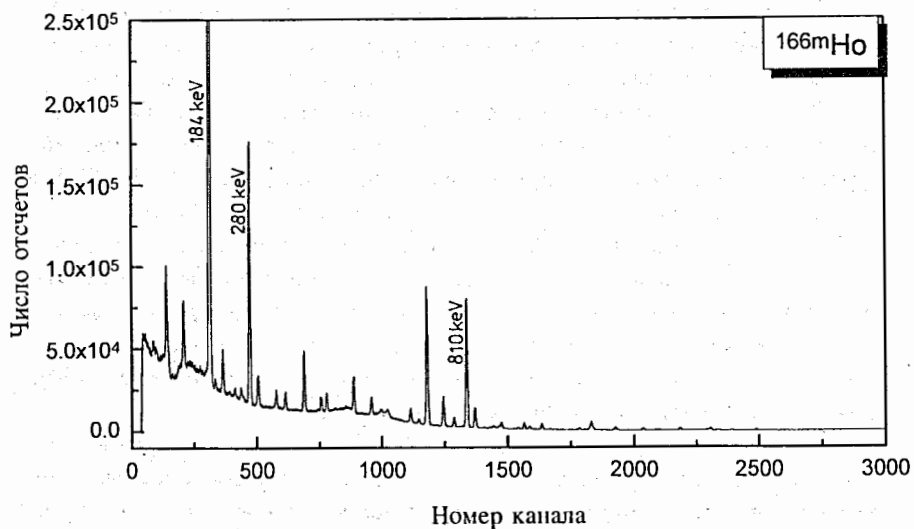


Рис.2. Спектр γ -излучения образца ^{166m}Ho

доструйным насосом в водяной бане, а остаток растворялся в концентрированной HNO_3 . Такая операция осаждения AgCl повторялась еще дважды. Окончательно осадок AgCl промывался ацетоном и высушивался при температуре 150°C .

Очистка образца Ho от Er проводилась на хроматографической колонке до и после облучения с использованием α -оксиизобутирата аммония. Концентрирование Ho и перевод его в форму нитрата осуществлялся также на хроматографической колонке, заполненной катионитом *Aminex A-6*.

После химической очистки образцов производилось измерение их спектров γ -излучения, чтобы определить количество ядер-изомеров и судить о наличии радиоактивных примесей в образцах. Для этих измерений использовался Ge(Li) -детектор объемом 60 см^3 с разрешением $2,3\text{ кэВ}$ на γ -линии ^{60}Co с энергией 1332 кэВ . Эффективность детектора определялась с помощью набора стандартных источников ОСГИ.

Измеренные таким способом γ -спектры образцов ^{108m}Ag и ^{166m}Ho представлены на рис.1 и рис.2. Спектр ^{108m}Ag состоит всего из 4-х γ -линий, в то время как спектр ^{166m}Ho очень сложный (более 40 γ -линий различной интенсивности). Анализ этих спектров показал, что все наблюдаемые в них γ -линии принадлежат полученным изомерам, а содержание примесей долгоживущих радиоактивных изотопов (с $T_{1/2} > 1$ год) не превышает 1%. Из интенсивности наблюдаемых в спектрах γ -линий были определены количества ядер-изомеров ^{108m}Ag и ^{166m}Ho в образцах. Они составляли соответственно $6,12 \cdot 10^{17}$ и $2,12 \cdot 10^{15}$ (разные количества ядер объясняются различными условиями облучения образцов Ag и Ho в реакторе).

В табл.3 представлены характеристики образцов - их вес, химическое соединение, интенсивность радиоактивного излучения, число ядер и их концентрация в образце. Видно, что описанный способ позволяет достигнуть концентрации высокоспиновых изомеров в образце до долей процента. Основное содержание образцов составляет изотопы Ag и Ho с другим массовым числом (^{107}Ag и в меньшей степени ^{109}Ag в случае ^{108m}Ag и ^{165}Ho в случае ^{166m}Ho). Разделение этих изотопов на масс-сепараторе позволит значительно повысить концентрацию ядер-изомеров в образцах. При типичном разрешении масс-сепаратора ~ 500 можно снизить содержание этих изотопов в сотни раз и таким образом получить образцы со сравнимыми количествами ядер изомера и соседних с ним-изотопов.

ТАБЛИЦА 3
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРАЗЦОВ
ПОЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОСПИНОВЫХ ИЗОМЕРОВ

Изомер	Химич. соединение	Вес образца, мг	Активность изомера, Бк	Число ядер изомера	Концентрация
^{108m}Ag	AgCl	29,4	$3,20 \cdot 10^7$	$6,12 \cdot 10^{17}$	$3,70 \cdot 10^{-3}$
^{166m}Ho	$\text{Ho}(\text{NO}_3)_3$	4,5	$5,62 \cdot 10^4$	$2,12 \cdot 10^{15}$	$1,20 \cdot 10^{-4}$

В заключение авторы выражают благодарность Ю.Ц.Оганесяну и Ю.Э.Пеннонжквичу за постоянный интерес к работе, С.А.Карамяну, К.Коллинзу (Техасский университет, США) за полезные обсуждения. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 96 02 17747а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Tanihata I.// Nucl. Phys. A. 1991. vol.522. No.3. P.2756.
2. Oganessian Yu.Ts. e.a.// J. Phys. G. 1992. vol.18. No.2. P.393.
3. Rotbard G. e.a.// Phys. Rev. C. 1993. vol.48. No.5. P.2148.
4. Lubkiewicz E. e.a.// Z. Phys. A. 1996. vol.355. No.4. P.377.
5. Deylitz S. e.a.// Phys. Rev. C. 1996. vol.53. No.3. P.1266.
6. Browne E., Firestone R.B. Table of Radioactive Isotopes. Ed. V.S.Shirley. N.Y. 1986.
7. Grintakis E., Cullen D.E., Mundy G. Handbook on Nuclear Activation Data. No. 273. IAEA. Vienna. 1987.
8. Mc Gowan F.K. e.a.// Nucl. Data Tables. 1963. vol.A7. No.1. P.1.
9. Herman M. e.a.// Comp. Phys. Comm., 1984. vol.33. No.2. P.373.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 ноября 1997 года.