

50830 2034

ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
АН УССР

Препринт КИЯИ-81-40

В.М.Мазур, А.А.Техе

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЙ НЕУПРУГОГО  
РАССЕЯНИЯ ГАММА-КВАНТОВ НА  
ЯДРАХ ГАФНИЯ

КИЕВ-1981

В.М.Мазур, А.А.Текс

ИЗМЕРЕНИЯ СЕЧЕНИЯ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ  
ГАММА-КВАНТОВ НА ЯДРАХ ТАНТАЛА

Описан методика измерения сечения довозбуждения изомеров тантала  $^{179}\text{Ta}(\gamma, \gamma')^{179\text{m}}\text{Ta}$  и  $^{180}\text{Ta}(\gamma, n)^{179\text{m}}\text{Ta}$ . Измерения проводились на тормозном пучке гамма-квантов в интервале энергии 3-14 МэВ. Из кривых выходов сечения рассчитывались по методу Пенфолда-Лейсса. Анализ полученных сечений проведен в рамках статистической модели.

A method is described for isomer photoexcitation cross section measurement in reactions  $^{179}\text{Ta}(\gamma, \gamma')^{179\text{m}}\text{Ta}$  and  $^{180}\text{Ta}(\gamma, n)^{179\text{m}}\text{Ta}$ . Measurements were carried out on the bremsstrahlung  $\gamma$ -quanta beams in the energy range 3 - 14 MeV. Cross sections were calculated from the output curves by the Penfold-Leiss method. An analysis of the obtained cross sections was carried out in the frame of the statistical model.

Cross Section Measurements of the  $\gamma$ -Quanta Inelastic Scattering on Ta Nuclei

V.M.Mazur, A.A.Teke

АКАДЕМИЯ НАУК УССР

УДК 539.171+539.172.3

В.М.МАЗУР, А.А.ТЕКЕ

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЙ НЕУПРУТОГО РАССЕЯНИЯ  
ГАММА-КВАНТОВ НА ЯДРАХ ГАФНИЯ

Киев, Институт ядерных исследований, 1981

Ключевые слова:

методика измерения, неупругое рассеяние, тормозной пучок, энергии 3-14 МэВ, мишени  $^{179}\text{Hf}$ ,  $^{180}\text{Hf}$ , фотообразование, изомеры, сечения, Пенфолда-Лисса метод, статистическая модель;

measuring methods, inelastic scattering, mev range 3 - 14, hafnium 179 target, hafnium 180 target, photoproduction, isomeric nuclei, cross section, Penfold-Leiss method, bremsstrahlung, statistical models.

Вопрос о неупругом рассеянии гамма-квантов на ядрах в области гигантского Е1 - резонанса до настоящего времени остается недостаточно исследованным. Неупругое ядерное рассеяние, приводящее к образованию изомеров, было измерено всего для нескольких сферических ядер [1-4]. Целью настоящей работы было изучение сечений реакции  $^{179}\text{Hf}(\gamma, \gamma')$   $^{179\text{m}}\text{Hf}$  и  $^{180}\text{Hf}(\gamma, n)$   $^{179\text{m}}\text{Hf}$ . Количество изомерных ядер  $^{179\text{m}}\text{Hf}$  ( $T_{1/2} = 18,67\text{с}$ ), ( $I^{\pi} = 1/2^{-}$ ) определялось методом активации.

### Методика эксперимента

Измерения проводились на тормозном пучке микротрона М-30 ИЯИ АН УССР при максимальной энергии гамма-квантов 3-14 МэВ.

Геометрия эксперимента приведена на рис. 1. Пучок ускоренных электронов выводился из микротрона и падал на танталовую тормозную мишень толщиной 0,5 мм. Далее тормозной пучок гамма-квантов, сформированный системой коллиматоров, проходил через монитор (ионизационную камеру), размещенную перед изучаемым образцом на расстоянии 5 см. Для контроля за работой монитором использовался монитор вторичной эмиссии, размещенный в ускорителе непосредственно перед окном вывода. Для очистки пучка от электронов использовался графитовый поглотитель толщиной 16,8 г/см<sup>2</sup>.

Исследуемые образцы изготовлялись из окиси изотопически обогащенного гафния -  $^{179}(\text{HfO}_2)$ . Характеристика изотопного



состава мишени приведена в таблице I. Окись гафния запрессовывалась в тонкостенные алюминиевые кассеты. Диаметр образцов составлял 20 мм, вес - 2 грамма.

Таблица

Изотопный состав мишеней

Мишень \ Состав (%)	$^{176}\text{Hf}$	$^{177}\text{Hf}$	$^{178}\text{Hf}$	$^{179}\text{Hf}$	$^{180}\text{Hf}$
$^{179}\text{Hf}$	0,2	1,5	4,6	78,4	20,0
$^{180}\text{Hf}$	0,2	0,8	2,2	2,5	94,3

Поскольку в мишени из гафния -  $^{179}\text{Hf}$  присутствовало довольно значительное (20 %) количество изотопа  $^{180}\text{Hf}$ , то при энергии гамма-квантов выше порога реакции ( $\gamma, n$ ) необходимо было учитывать вклад реакции  $^{180}\text{Hf}(\gamma, n) ^{179m}\text{Hf}$ . Для этого параллельно с измерением выхода реакции ( $\gamma, \gamma'$ ) на мишенях из гафния -  $^{179}\text{Hf}$  измерялся выход реакции  $^{180}\text{Hf}(\gamma, n) ^{179m}\text{Hf}$ . Мишени из гафния -  $^{180}\text{Hf}$  изготавливались аналогично образцам  $^{179}\text{Hf}$ . Изотопные характеристики их приведены в табл.

Выходы реакций  $^{179}\text{Hf}(\gamma, \gamma')$   $^{179m}\text{Hf}$  ( $T = 18,64$  с) и  $^{180}\text{Hf}(\gamma, n) ^{179m}\text{Hf}$  измерялись сцинтилляционным детектором с кристаллом  $\text{NaI}(\text{Te})$ . При этом количество изомерных ядер гафния -  $^{179}\text{Hf}$  определялось по интенсивности гамма-линии 217 кэВ, квантовый выход которой на акт распада изомера хорошо известен и составляет 94 % [5]. Использование большого кристалла  $\text{NaI}(\text{Te})$  ( $\phi$  63 x 63 мм) позволило вести измерение в геометрии, близкой к 2 $\pi$  почти со 100%-ной эффективностью.

Процедура измерений сводилась к следующему. В момент установления образца в пучок одновременно включалась регистрация дозы гамма-излучения, прошедшего через образец. После набора определенной дозы специальное транспортное устройство доставляло образец в измерительный блок. Время измерения устанавливалось 60 с, время охлаждения 4 с. После распада наведенной активности процедура измерения повторялась. Все операции: установка образца на облучение, подача на измерение, выдержка времени и т.д. осу-

пествлялось автоматически. Управление экспериментом выполнялось специальным блоком управления.

Блок — схема организации измерений показана на рис. 2. Импульсы от сцинтилляционного спектрометра, усиленные предварительно усилителем, поступают через линию задержки (Л.З.) на вход амплитудного анализатора *МТА* — 512В, непосредственно связанный с амплитудным преобразователем (Вх.А). Одновременно сигналы после усилителя подаются на дифференциальный дискриминатор, который позволяет задавать энергетические пределы регистрируемого спектра гамма-квантов. Импульсы из дискриминатора подавались на разрешающий вход анализатора (Вх.Б), работающий в режиме совпадений, а также на пересчетный прибор ППО9-2М, который регистрировал общее количество событий прошедших через дискриминатор. Второй пересчетный прибор регистрировал количество импульсов, зарегистрированных анализатором.

Доза излучения, прошедшего через образец, регистрировалась тонкостенной ионизационной камерой. Интегрирование дозы осуществлялось *RC* — цепочкой, постоянная времени которой подбиралась равной постоянной распада исследуемого изомера. Величина напряжения на *RC* — цепочке измерялась усилителем постоянного тока *У5* — 9 и выводилась на цифровой прибор В7-16. Дрейф нуля аппаратуры контролировался в конце и начале каждого измерения. Специально разработанное четырехзначное цифровое пороговое устройство выдавало сигнал конца набора дозы при достижении определенного значения напряжения, а также импульс запуска блока управления, который осуществлял дальнейшее проведение измерений. Информация, полученная в анализаторе, записывалась и накапливалась на магнитофонной ленте для последующей обработки на ЭВМ.

При проведении измерений проводился контроль возможного возбуждения изомерных состояний посредством неупругого рассеяния нейтронов на исследуемой мишени из нейтронного фона в экспериментальном зале. Для этого исследуемые образцы выводились из тормозного пучка и помещались на расстоянии 5 см от его оси. Затем измерялась их активность, наведенная нейтронами и рассеянными гамма-квантами. При максимальных энергиях гамма-излучения она была меньше 1%-ной активности образцов, находящихся в пучке. Для уменьшения возможной фоновой активности, наведенной теплыми нейтронами, изучаемые образцы при облучении помеща-



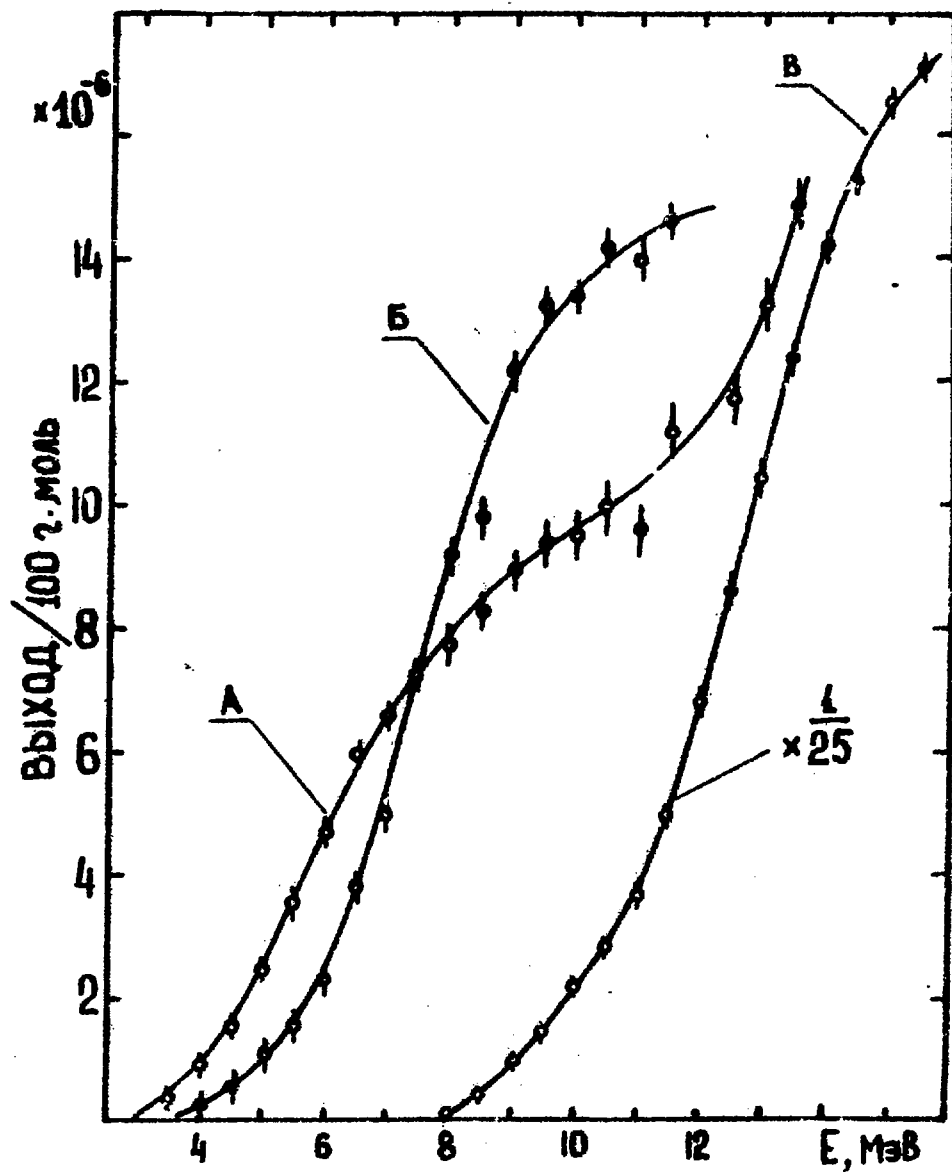


Рис.3. Выходы реакций фот. образования изомеров:

А. Выход реакции  $^{179}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{179\text{m}}\text{Hf}$ ;

Б. Выход реакции  $^{197}\text{Au}(\gamma, \gamma')^{197\text{m}}\text{Au}$ ;

В. Выход реакции  $^{180}\text{Hf}(\gamma, \eta)^{179\text{m}}\text{Hf}$

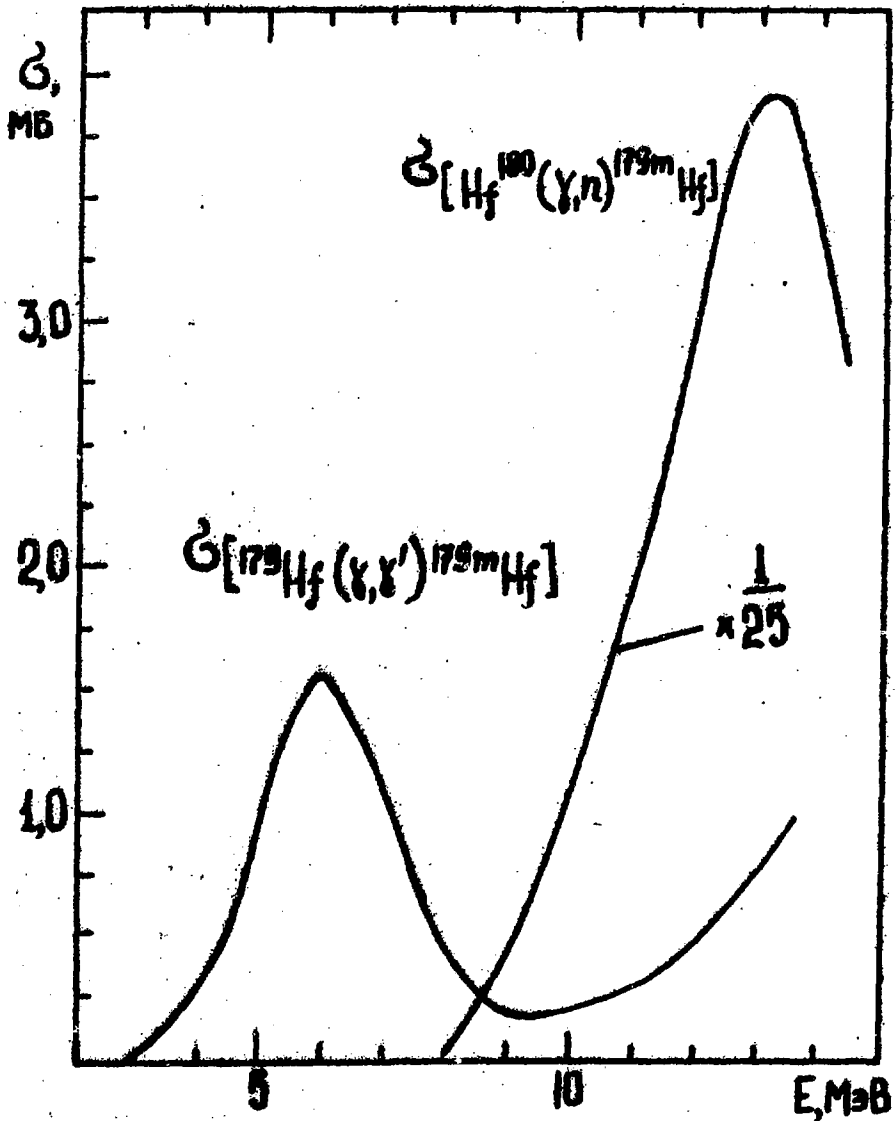


Рис. 4. Сечения реакций  $^{179}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{179m}\text{Hf}$  и  $^{180}\text{Hf}(\gamma, n)^{179m}\text{Hf}$

лись в кадмиевый экран толщиной  $0,45 \text{ г/см}^2$ .

Отдельными измерениями проверялась величина возможного вклада в общий выход реакций  $^{179}\text{Hf} (\gamma, \gamma')$   $^{179m}\text{Hf}$  активности изомера  $^{179m}\text{Hf}$  с периодом полураспада  $25,1$  дня ( $T_{1/2} = 25/2$ ). Измерения показали, что вклад этого процесса пренебрежим.

При обработке измеренных данных учитывалось самопоглощение гамма-квантов наведенной активности в образце. Для этого были проведены расчеты величины самопоглощения с использованием известных коэффициентов ослабления [6], а также измерения активности с разными толщинами образцов. Вводилась также поправка на просчеты измерительной аппаратуры.

Абсолютная нормировка выходов реакций  $(\gamma, \gamma')$  проводилась как с помощью абсолютной камеры [7], так и посредством нормировки на абсолютный выход реакций  $(\gamma, \gamma')$  на золоте [2]. Обе калибровки дали совпадающие результаты.

Измеренные абсолютные выходы реакций  $^{179}\text{Hf} (\gamma, \gamma')$   $^{179m}\text{Hf}$ ,  $^{180}\text{Hf} (\gamma, n)$   $^{179m}\text{Hf}$  и  $^{197}\text{Au} (\gamma, \gamma')$   $^{197m}\text{Au}$  приведены на рис. 3. Указанные ошибки – среднеквадратические. Измерения проводились с шагом  $0,5$  МэВ. Исследование сечений реакций  $(\gamma, \gamma')$  на изотопах гафния проведено впервые. Измерение выхода реакции  $^{197}\text{Au} (\gamma, \gamma')$   $^{197m}\text{Au}$ , исследованного ранее [2], проводилось нами с целью проверки используемой методики.

Из измеренных выходов в интервале энергий  $3\text{--}14$  МэВ методом Пенфолда – Лисса [8,9] были рассчитаны поперечные сечения реакций  $^{179}\text{Hf} (\gamma, \gamma')$   $^{179m}\text{Hf}$  и  $^{180}\text{Hf} (\gamma, n)$   $^{179m}\text{Hf}$ . Полученные сечения приведены на рис. 4.

В районе масс изучаемых ядер в диапазоне энергий гигантского Е1-резонанса для описания ядерных реакций обычно используется статистическая теория, параметр которой – плотность уровней ядра является функцией энергии возбуждения и углового момента  $f(E, D)$ . Как показано в работе [10], исследование в реакциях  $(\gamma, n)$  относительных сечений образования изомеров ( $\sigma_{iso}/\sigma_{total}$ ) дает интересную информацию о спиновой зависимости плотности уровней ядра.

Как видно из рис. 4, полученное сечение реакции  $^{180}\text{Hf} (\gamma, n)$   $^{179m}\text{Hf}$  носит резонансный характер и имеет четко выраженный максимум  $96,9 \text{ Мб}$  при энергии  $13,0$  МэВ. На ядре  $^{180}\text{Hf}$  в настоящее время измерено и полное сечение поглощения гамма-квантов [11] и сечение рождения фотонейтронов [12].

Сопоставление сечений реакции  $^{180}\text{Hf}(\gamma, n) ^{179m}\text{Hf}$ , измеренных нами, с сечением реакции  $^{180}\text{Hf}(\gamma, n) ^{179}\text{Hf}$  [12], показывает, что в области энергий 9–14 МэВ изомерное отношение  $\chi$  практически не меняется в пределах ошибок и составляет в среднем  $\chi = 0,28 \pm 0,2$ . Результаты измерений согласуются с расчетами по методу Хизенги-Ванденбоша [10] при параметре обрезания спинов  $\delta \approx 5$ .

Сечение реакции  $^{179}\text{Hf}(\gamma, \gamma') ^{179m}\text{Hf}$  испытывает максимум при энергии 6 МэВ. Положение резонанса совпадает в пределах ошибок с порогом фотонейтронной реакции на гафний -  $^{179}\text{Hf}$ . Быстрый спад сечения  $(\gamma, \gamma')$ , выше порога  $(\gamma, n)$  реакции обусловлен конкуренцией в нейтронном канале. Подъем сечения в области энергий выше 12 МэВ, по-видимому, указывает на наличие второго максимума в сечении при более высоких энергиях.

Сопоставление сечений реакции  $^{179}\text{Hf}(\gamma, \gamma') ^{179m}\text{Hf}$  и  $^{197}\text{Au}(\gamma, \gamma') ^{197}\text{Au}$  [2] показывает, что в области энергий ниже 6 МэВ сечение неупругого рассеяния гамма-квантов на гафнии- $^{179}$  в 2–3 раза превышает сечение на золоте. Поскольку разница спинов  $\Delta I = |I_m - I_g|$  основного состояния  $I_g$  и изомерного для изотопов  $^{179}\text{Hf}$  и  $^{197}\text{Au}$  одинакова ( $\Delta I = 4$ ), то отмеченное поведение сечений реакций  $(\gamma, \gamma')$  может быть объяснено расщеплением гигантского E1-резонанса деформированного ядра  $^{179}\text{Hf}$  и соответствием большему сдвигу части дипольной силы в область меньших энергий.

Прикнижный список использованной  
литературы

1. Богданкевич О.В., Лазарева Л.Е., Николаев В.А. - ЖЭТФ, 1956, 31, с.405.
2. Meyer-Schutzmeister L., Telegdi V.L. - Phys.Rev., 1956, 104, p.185.
3. Silva E., Goldenberg J. - Phys.Rev., 1958, 110, p.1102.
4. Богданкевич О.В., Лазарева Л.Е., Долбилкин Б.С., Николаев Ф.А.: - ЖЭТФ, 1963, 45, с.882.
5. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Квантовое излучение радиоактивных нуклидов. М.: Атомиздат, 1977.
6. Немец О.Ф., Гофман Ю.В. Справочник по ядерной физике. К.: Наукова думка, 1975.
7. Flowers B. et al. - Proc.Phys.Soc., 1952, 65, p.266.
8. Penfold A.S., Leiss J.E. - Phys.Rev., 1959, 114, p.1332.
9. Богданкевич О.В., Николаев Ф.А. Работа с пучком тормозного излучения. М.: Атомиздат, 1964.
10. Huizenga J.R., Vandenbosch R. - Phys.Rev., 1960, 120, p.1305.
11. Gurevich G.M., Lazareva L.E., Mazur V.M. et al. - Nucl.Phys. 1981, A351, p.257.
12. Горяев А.М., Залесный Г.Н. - ЯФ, 1977, 26, с.465.

Рукопись поступила в ОНТИ ИЯИ  
23.II.81 г.

**Владимир Михайлович Назур, Александр Александрович Теке**

**ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЙ НЕУПРУГОГО  
РАССЕЯНИЯ ГАММА-КВАНТОВ НА ЯДРАХ ГАФНИЯ**

**(препринт КИАИ-81-40)**

**Редакторы: Н.А.Солдатенко  
Е.В.Серман**

<b>ВФ 33964</b>	<b>ИЯИ АН УССР</b>	<b>Усл.-печ.л. 0,7</b>
<b>Изд.№ КИАИ-81-40</b>	<b>Бумага офсетная</b>	<b>Уч.-изд.л. 0,49</b>
<b>Тип.заказ № 147</b>	<b>Печать офсетная</b>	<b>Тираж 180 экз.</b>
<b>Подписано к печати 21.12.81 г.</b>		<b>Цена 2 коп.</b>

---

**Институт ядерных исследований АН УССР  
252650, ГСП, Киев-28, проспект Науки, 119**

---

**СКТБ и ЭП Института ядерных исследований АН УССР  
252650, ГСП, Киев-28, проспект Науки, 119**

---