

50880069

АКАДЕМИЯ НАУК УССР



ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Препринт КИЯИ-86-22

З.М. Биган, В.М. Мазур, И.В. Соколюк

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ $^{180}\text{Ir}(\gamma, \gamma')^{180\text{m}}\text{Ir}$
ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 6-12 МЭВ

КИЕВ

Э.М.Баран, В.М.Мазур, И.В.Соколюк

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180\text{m}}\text{Hf}$ В ОБЛАСТИ
ЭНЕРГИЙ 6-12 МЭВ

Измерены выходы и определены сечения реакции $\text{Hf}^{180}(\gamma, \gamma')$ $^{180\text{m}}\text{Hf}$ в области энергий 6-12 МэВ. Проведена оценка величины экспериментального изомерного отношения $\eta_{\text{эксп}}$ при энергии 7,25 МэВ. Экспериментальные результаты сравниваются с теоретическими расчетами η по статистической модели ферми-газа.

The yields are measured and the cross-sections of $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')$ $^{180\text{m}}\text{Hf}$ reaction are determined within the energy range of 6-12 MeV. The value is estimated of experimental isomeric ratio η_{exper} at energy of 7,25 MeV. The experimental results are compared with theoretical calculations according to statistical model of Fermi-gas.

The study of $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180\text{m}}\text{Hf}$ reactions within the energy range of 6 - 12 MeV

E.M. Bigan, V.M. Mazur, I.V. Sokolyuk

АКАДЕМИЯ НАУК УССР

З.М.Биган, В.М.Мазур, И.В.Соколюк

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180\text{m}}\text{Hf}$ В ОБЛАСТИ
ЭНЕРГИИ 6-12 МЭВ

Киев, Институт ядерных исследований АН УССР, 1986

Ключевые слова:

массив ¹⁸⁰Hf, деформированные ядра, изомерные переходы, диапазон энергий 6,0-12,0 МэВ, статистическая модель, неупругое рассеяние, фотоядерные реакции, выход реакции, сечение, плотность уровней, спин;

hafnium-180, deformed nuclei, isomeric transitions, meV range 6-12, statistical models, inelastic scattering, photonuclear reactions, yield of reaction, cross section, energy-level density, spin.

Известно, что в области аксиально-симметричных деформированных ядер для низлежащих возбужденных состояний проекция спина на ось симметрии ядра K является хорошим квантовым числом $/I/$. Вместе с тем представляет интерес и вопрос о том, при каких энергиях начинается несохранение числа K и каким образом происходит этот переход $/I/$.

С ростом энергии возбуждения плотность уровней ядра стремительно увеличивается и при этом отдельные уровни становятся комбинациями различных конфигураций с разными числами квазичастиц $/2/$. Однако, если бы при таких возбуждениях можно было бы пренебречь силами Корнелиса, то уровни образовали бы вращательные полосы, характеризующиеся квантовым числом в системах с аксиальной симметрией $/I/$.

Из результатов анализа данных по захвату нейтронов ядрами можно сделать вывод, что для нейтронных резонансных состояний, связанных с энергиями возбуждения ядра, близкими к энергии связи нейтрона B_n , возможные величины проекции K при данном значении практически равновероятны $/1-3/$. Возможным механизмом, приводящим к несохранению K , является корнелисово смешивание $/I/$. Корнелисово взаимодействие приводит к связи внутреннего и коллективного вращательного движений деформированного ядра и смешивает состояния с различным K и в пределе сильного корнелисового смешивания результирующее состояние ядра J^{π} будет представлять собой суперпозицию состояний J^{π}, K со всеми возможными при данном J значениями K .

В рамках упомянутых вопросов определенный интерес представляет изучение возбуждения K -изомеров деформированных ядер в реакциях неупругого рассеяния гамма-квантов.

В настоящей работе была предпринята попытка измерения выхода образования двухквaziчастичного изомера на ядре ^{180}Hf ($E = 1142,8$ кэВ; $J^\pi, K = 8, 8$; $T_{1/2} = 5,5$ ч) в реакции $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')$ ^{180}Hf . Основное состояние гафния- $^{180}\text{O}^+$ имеет $K = 0$, изомерное с $J^\pi = 8^-$ имеет $K = 8$. Таким образом, при неупругом рассеянии фотонов заселение рассматриваемого состояния $J^\pi, K = 8^-, 8$ может идти при изменении J и K на 8 единиц.

Предпринятые в работах /4,6/ попытки обнаружить фотовозбуждение 5,5-часового изомера четно-четного ядра ^{180}Hf успеха не имели. В работе /4/ облучение велось с помощью гамма-квантов ряда радиоактивных источников. При этом максимальная энергия фотонов составляла 2,75 МэВ.

В работах /5,6/ исследования проводились на ускорителях электронов с помощью пучков тормозных гамма-квантов. В первом случае использовался линейный ускоритель на 6 МэВ. Во втором - также использовался линейный ускоритель, но с более широкой энергетической шкалой. Исследовался обширный круг ядер и основные измерения по определению активации изомеров были проведены при энергии 7 МэВ.

В настоящей работе измерения проводились на тормозном пучке гамма-квантов микротрона при энергиях ускоренных электронов 6-12 МэВ. Ток пучка, падающего на тормозную мишень, составлял 10-15 мкА. Исследуемые мишени представляли собой диски диаметром 20 мм и массой 6 г, спрессованные из окиси гафния. Использовался изотопически обогащенный гафний- 180 . Обогащение составляло 94%.

Идентификация изомера осуществлялась по гамма-линиям 215,5, 333, 444 кэВ, а также по периоду полураспада. Характеристики уровней брались из работы /7/. Выход $Y(E)$ реакции $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')$ ^{180}Hf определялся по интенсивности линии 215,5 кэВ. Время облучения и измерения составляло 4 ч.

Одновременно с облучением гафния для контроля и проверки методики измерялся выход реакции $Y(E)$ на ядрах индия-115. Индиевые мишени также имели диаметр 20 мм и массу $\sim 0,1$ г.

Наиболее экспериментальные величины выхода $Y(E)$ реакции (γ, γ') на ядре гафний- 180 приведены на рис.1. Указанные ошибки статистические. Ошибка энергетической шкалы составляла $\sim 1,5\%$. Сплошная кривая выхода $Y(E)$ на рис.1 проведена методом графичес-

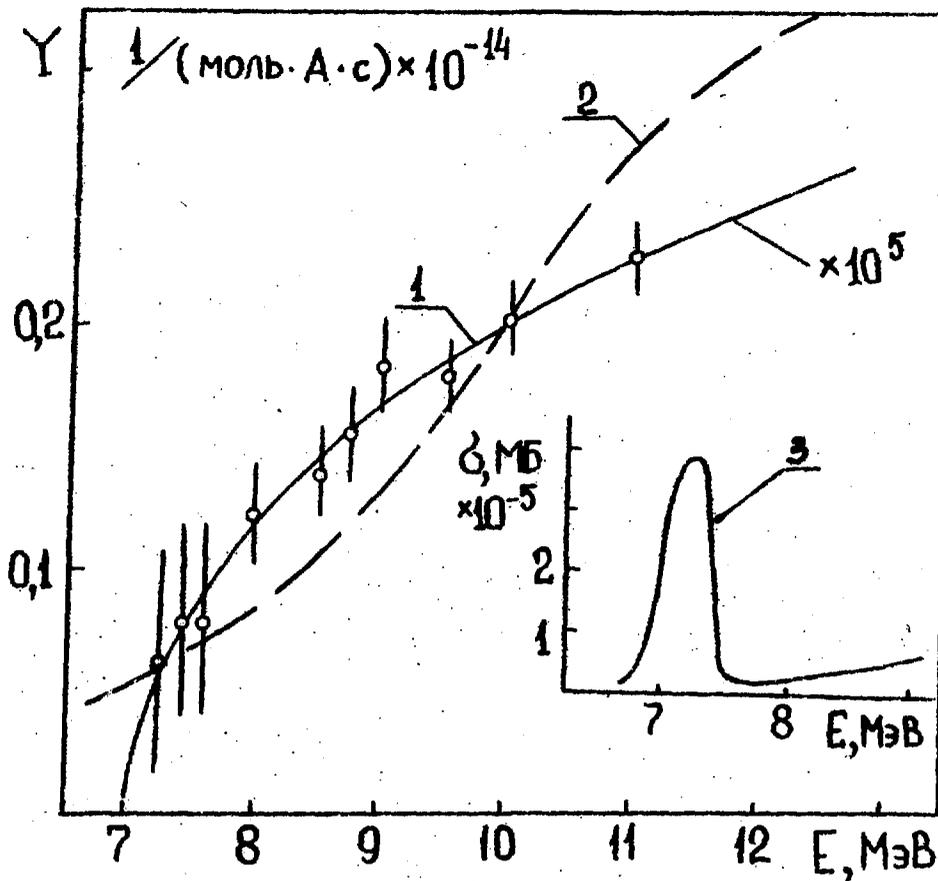


Рис. I. Выход и сечение реакции фотовозбуждения изомера ^{180m}Hf :
 1 - экспериментальная кривая выхода Y реакции $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180m}\text{Hf}$, 2 - кривая выхода реакции $^{115}\text{In}(\gamma, \gamma')^{115m}\text{In}$ [8], 3 - сечение реакции $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180m}\text{Hf}$

кого оглаживания. На этом же рисунке штриховой линией приведен для сравнения выход фотообразования изомера на ядре индий-115 ($E=336$ кэВ, $T_{1/2} = 4,5$ ч, $J_{\pi}^{\sigma} = 1/2^{-}$), взятый из работы /8/. На рис. I также приведено сечение $\sigma_m(E)$ реакции $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180m}\text{Hf}$, пересчитанное из сплошной кривой выхода $Y(E)$ методом Пенфолда-Лиссе /9/ с шагом $\Delta E = 0,5$ МэВ.

Как видно из рисунка, характер энергетической зависимости $Y(E)$ для гафния указывает, что процесс возбуждения изомерного двухквасичастичного состояния $8^{-}, 8$ ядра ^{180}Hf в реакции (γ, γ') имеет порог ~ 7 МэВ. Это обстоятельство, по-видимому, объясняет, почему процесс фотообразования изомера гафния-180 не наблюдался в работах /4-6/.

Полученное сечение реакции $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180m}\text{Hf}$ представляет собой узкий резонанс с максимумом при энергии 7,25 МэВ и шириной $\sim 0,5$ МэВ. Максимум сечения с точностью до калибровки совпадает с порогом реакции (γ, n) на ядре гафний-180 и составляет $4 \cdot 10^{-5}$ мб. Спад сечения выше порога реакции (γ, n) , по-видимому, связан с конкуренцией в нейтронном канале.

Сечение возбуждения изомерного состояния $(8^{-}, 8)$ в реакции (γ, γ') на ядре ^{180}Hf может служить своеобразным тестом на проверку роли каскадного процесса при заселении изомера, поскольку при реакции неупругого рассеяния фотонов изомерное состояние может заселиться только в каскадном процессе. Сравнение полученных нами величин с сечением реакции $^{180}\text{Hf}(n, n')^{180m}\text{Hf}$ /10/, где основную роль играет прямое возбуждение состояния $(8^{-}, 8)$ при неупругом рассеивании нейтронов, подтверждает вывод о том, что вклад каскадного процесса при возбуждении изомерного состояния $(8^{-}, 8)$ в реакции (n, n') мал.

Полученная нами оценка сечения реакции (γ, γ') позволяет при энергии 7,25 МэВ определить экспериментальное изомерное отношение $\eta = \sigma_m / \sigma_{tot}$, где σ_{tot} - сечение полного поглощения гамма-квантов ядром.

Известно, что сечение поглощения σ_{tot} в области $E \uparrow$ - гигантского резонанса для тяжелых деформированных ядер хорошо описывается суммой двух лоренцевых кривых. Поэтому в качестве значения σ_{tot} брались значение сумм лоренцианов при энергии 7,25 МэВ. Параметры линий Лоренца брались из работы /11/. Оцененное таким образом η эксп. равно $\sim 0,2 \cdot 10^{-5}$.

Нами проведен расчет изомерного отношения η для реакции $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180\text{m}}\text{Hf}$ в области 4-9 МэВ. При расчетах /12/ принималось:

ядро-мишень со спином основного состояния J_0 поглощает дипольный гамма-квант, что приводит к возбуждению компаунд-состояний со спином $J_c = J_0$. $J_c = J_0 \pm 1$;

плотность уровней возбужденного ядра, как функция спина и энергии возбуждения E представляется формулой Бете-Блоха;

предполагается, что ядро девозбуждается каскадом гамма-квантов, при этом единичный гамма-квант уносит момент, равный единице.

Четность переходов не учитывалась. Учитывалось наличие конкурирующих уровней 8^+ , 6^+ . Более подробно процедура расчетов приведена в работе /13/.

Результаты вычислений показаны сплошными линиями на рис.2. Расчеты проводились как без свободных параметров, так и с фиксацией параметра ограничения по спину σ в формуле для плотности уровней при значениях 3,0; 2,5 и 2,2. (Выбор значений $\sigma = 2,2-2,5$ при расчетах изомерных отношений для реакции $^{180}\text{Hf}(\gamma, n)^{179\text{m}}\text{Hf}$ ($T_{1/2} = 18,17$ с) приводил к согласию с экспериментом /13/).

Из расчетов следует, что при энергии падающих фотонов выше 5 МэВ появляются условия для заселения уровней с $J = 8$. С ростом энергии возбуждения изомерное отношение увеличивается и при $E_\gamma = 7$ МэВ достигает заметных значений. Сравнение экспериментальной величины η с расчетом показывает, что $\eta_{\text{эксп}}$ ниже расчетных значений η даже при $\sigma = 2,2$. Здесь необходимо отметить, что в расчетах нигде не учитывался факт наличия проекции спина и возможное распределение плотности уровней как функции спина J и его проекции K . Если предположить, что при данном J все возможные значения K равновероятны /1,3/, то можно достичь согласия расчетных и экспериментальных изомерных отношений для реакции $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180\text{m}}\text{Hf}$ при $\sigma = 2,2-2,5$.

Авторы выражают благодарность Ремете Е.Ю. за полезные дискуссии

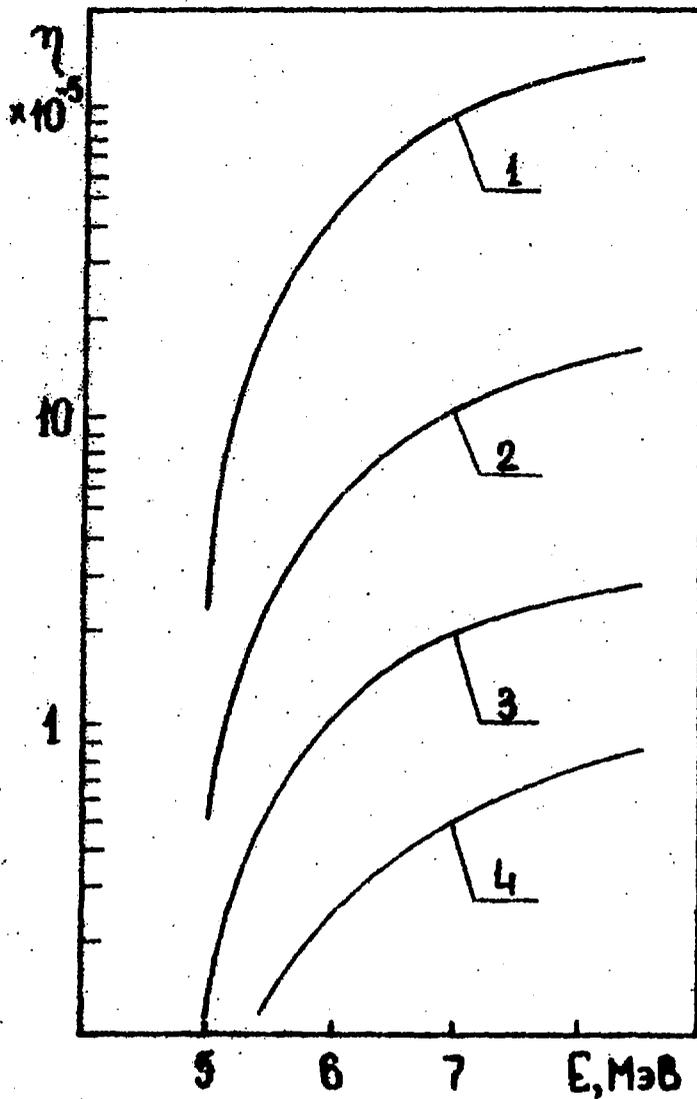


Рис. 2. Расчет неомерного отношения в реакции $180\text{MeV } \gamma, \beta, 180\text{MeV } Hf$; расчеты:
 1 - без свободных параметров, 2 - при фиксации $\epsilon = 3,0$; 3 - $\epsilon = 2,5$ и 4 - $\epsilon = 2,2$

Список литературы

1. Бор О., Моттельсон Б., Структура атомного ядра. М.: Мир, т.2, 1977.
2. Бор О., Моттельсон Б. Структура атомного ядра. М.: Мир, т.1, 1977.
3. Кадменский С.Г., Маркушев В.П., Фурман В.И. Несохранение проекции спина на ось симметрии ядра в нейтронных резонансах и корнелисово смешивание. - Ядерная физика, 1982, 35, №2, с.300-301.
4. Veres A., Pavlicsek I., Csürös M. Possibilities of photo-excitation of even-even nuclear isomers. - Proc.Intern.Conf. on photo-nuclear reactions and application. Assilomar, California. V 1, 1978, p.307.
5. Breban Ph., Blondiaux G., Valladon M., et al. Etude de possibilites d'utilisation analytique des isomer nucleaires produits par reaction (γ, γ') entre 6 et 8 MeV. - Nucl.Instrum.Methods, 1979, v.158, p.205-215.
6. Kaminishi T., Kojima G. Production of Nuclear Isomers from stable nuclides with Bremsstrahlung. - Japan J.Appl.Phys., 1963, v.2, N 7, p.399-405.
7. Гусев Г.Н.; Дмитриев П.П. - Квантовое излучение радиоактивных нуклидов. -М.: Атомиздат, 1977.
8. Богданкевич О.В., Лазарева Л.Е., Николаев Ф.А. Неупругое рассеяние фотонов на ядрах индия-115. -ЭЖТФ, 1956, 31, с.405-412.
9. Богданкевич О.В., Николаев Ф.А. -Работа с пучком тормозного излучения. М.: Атомиздат, 1964.
10. Воротников П.Е., Никольский Е.Ю., Чуев В.И. Сечение возбуждения пятчасового изомера ^{180m}Hf при неупругом рассеивании нейтронов. -Нейтронная физика. Материалы 6-й Всес. конференции по нейтронной физике (Киев 2-6 окт. 1983), М., 1984, т.3, с.208-210.
11. Горячев А.М., Залесный Г.Н. Гигантский дипольный резонанс на изотопах Hf. - Ядерная физика, 1977, 26, №3, с.465-472.
12. Арифов Л.Ф., Мазитов Б.С. Уланов В.Г. Относительная вероятность заселения изомеров в реакциях радиационного захвата. - Ядерная физика, 1981, 34, №4, с.1028-1043.
13. Биган З.М., Мазур Т.М., Торич З.З. Измерные отношения в реакциях (γ, n) на тяжелых ядрах. Препринт 84.10.-К.: ИЯИ АН УССР, 1984.

Зоя Михайловна Биган,
Владимир Михайлович Маур
Иван Васильевич Соколов
ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180\text{m}}\text{Hf}$ В ОБЛАСТИ
ЭНЕРГИЙ 6-12 МЭВ
(препринт КИЯИ-86-22)

Редакторы: Малашкіна Л.П.
Солдатенко Н.А.

Подписано к печати 24.06.86 г.

БФ № 27123

Изд. КИЯИ-86-22

Тип. зак. 190

Тираж 200 экз.

Бумага офсетная

Печать офсетная

Формат бумаги 60x90/16

Цена 2 коп.

Усл.-печ.л. - 0,82

Уч.-изд.л. - 0,3

СКГБ о ЭП Института ядерных исследований АН УССР
252028, Киев-28, проспект Науки, 119
