**Систематика изомерных отношений тяжелых ядер**

***Порядина О.В.1, Фурсова Н.Ю.1,2***

Студент, аспирант

*1Физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия
2Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*E–mail: *olesya20025@gmail.com*

Ядерные изомеры – это метастабильные состояния атомных ядер, которые возникают из-за большой разницы в спинах ($ΔI\geq 3$) или степенях деформации между изомерным и основным состояниями ядер. В деформированных ядрах имеет место запрет по квантовому числу $K$ (проекции спина на ось симметрии ядра), что приводит к сильной задержке радиационных переходов малой мультипольности, а значит – и к появлению изомеров.

Цель работы: Построение систематики изомерных отношений для тяжелых ядер, образовавшихся в результате фотоядерных реакций. Изучение изомеров важно для понимания структуры ядер, их динамики и процессов деления. Тяжелые ядра ($A > 140$) представляют особый интерес из-за сложной структуры и наличия множества изомерных состояний.

В настоящей работе были определены значения изомерных отношений ($IR$) изотопов $ ^{195,197}Hg$, полученных в результате фотоядерных реакций на образце природной ртути, с помощью гамма-активационной методики [2] на пучке тормозных электронов с максимальной энергией 55 МэВ. Исследования проводились на линейном ускорителе электронов РМ-55 НИИЯФ МГУ. Изомерные отношения рассчитывались как отношение выходов конечных изотопов в изомерном ($Y\_{m}$​) и основном ($Y\_{g}$​) состояниях:

$IR=Y\_{m}/Y\_{g}$.

В таблице 1 приведены полученные в ходе эксперимента значения, которые в дальнейшем сравнивались с результатами работ [1,3-7], содержащих экспериментальные данные об изомерных отношениях *IR* в фотоядерных реакциях на тяжелых изотопах при максимальной энергии электронов ускорителя 55 МэВ.

Таблица 1. Полученные в настоящей работе и работах [1,3-7] изомерные отношения $IR=Y\_{m}/Y\_{g}$ для изотопов тяжелых ядер, образовавшихся в результате фотоядерных реакций при максимальной энергии электронов ускорителя $E^{m}=55$ МэВ, с указанием значений спинов для ядер в основном и метастабильном состояниях

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Основная реакция* | $$I\_{m}^{P}$$ | $$I\_{g}^{P}$$ | $$IR\_{эксп}=Y\_{m}/Y\_{g}$$ | *Источник* |
| 196Hg($0^{+}$) ($γ$,1n)195m,gHg | 13/2+ | 1/2- | $$0.481\pm 0.016$$ | Настоящая работа |
| 198Hg($0^{+}$) ($γ$,1n)197m,gHg | 13/2+ | 1/2- | $$0.147\pm 0.009$$ | Настоящая работа |
| 199Hg($3/2^{-}$) ($γ$,1p)198m,gAu200Hg($0^{+}$) ($γ$,1n1p)198m,gAu | $$12^{-}$$ | $$2^{-}$$ | $$0.0026\pm 0.0006$$ | Настоящая работа |
| 201Hg($3/2^{-}$)($γ$,1p)200m,gAu202Hg($0^{+}$)($γ$,1n1p)200m,gAu | $$12^{-}$$ | $$1^{-}$$ | $$0.0019\pm 0.0003$$ | Настоящая работа |
| 178Hf($0^{+}$)($γ$,1p)177m,gLu | $$23/2^{-}$$ | $$7/2^{+}$$ | $$\left(28.2\pm 2.0\right)⋅10^{-6}$$ | [3] |
| 165Ho($7/2^{-})$($γ$,1n)164m,gHo | $$6^{-}$$ | $$1^{+}$$ | $$0.427\pm 0.029$$ | [5] |
| 165Ho($7/2^{-})$($γ$,3n)162m,gHo | $$6^{-}$$ | $$1^{+}$$ | $$0.652\pm 0.045$$ | [5] |
| 198Pt($0^{+}$)($γ$,1n)197m,gPt | $$13/2^{+}$$ | $$1/2^{-}$$ | $$0.166\pm 0.012$$ | [4] |
| 149Sm($7/2^{-}$)($γ$,1p)148m,gPm150Sm($0^{+}$)($γ$,1n1p)148m,gPm | $$5^{-},6^{-}$$ | $$1^{-}$$ | $$1.035\pm 0.048$$ | [6] |
| 142Nd($0^{+}$)($γ$,1n)141m,gNd | $$11/2^{-}$$ | $$3/2^{+}$$ | $$0.055\pm 0.006$$ | [1] |
| 142Nd($0^{+}$)($γ$,1n)141m,gNd143Nd($7/2^{-}$)($γ$,2n)141m,gNd | $$11/2^{-}$$ | $$3/2^{+}$$ | $$0.093\pm 0.010$$ | [7] |
| 142Nd($0^{+}$)($γ$,3n)139m,gNd143Nd($7/2^{-}$)($γ$,4n)139m,gNd | $$11/2^{-}$$ | $$3/2^{+}$$ | $$0.859\pm 0.081$$ | [7] |
| 181Ta($7/2^{+}$)($γ$,3n)178m,gTa | $$1^{+}$$ | $$7^{-}$$ | $$1.96\pm 0.35$$ | [1] |

В качестве результата работы была построена зависимость парциальных выходов метастабильных и основных состояний от модуля разности спинов продукта реакции и мишени ($ΔI=\left|I\_{p}-I\_{t}\right|$), систематизирующая изомерные состояния. Установлено, что экспериментальные данные хорошо ложатся на аппроксимационную функцию в виде квадратичной параболы:

$$ln\left(IR\right)=A+BΔI+CΔI^{2}$$

Полученная закономерность отражает вклад спиновых конфигураций в механизм образования изомерных состояний.

**Список литературы**

1. Bartsch H., Huber K., Kneissl U. et al. Critical consideration of the statistical model analysis of photonuclear isomeric cross-section ratios // Nuclear Physics A. 1976. V. 256(2). P. 243–252. [https://doi.org/10.1016/0375-9474(76)90106-8](https://doi.org/10.1016/0375-9474%2876%2990106-8).
2. Belyshev S.S., Ermakov A.N., Ishkhanov B.S. et al. Studying photonuclear reactions using the activation technique // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A. 2014. V. 745. P. 133-137.
[https://doi.org/10.1016/j.nima.2014.01.057](https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.1016%2Fj.nima.2014.01.057&utf=1).
3. Kazakov A.G., Ekatova T.Y., Babenya J.S. et al. Recovery of 177Lu from Irradiated HfO2 Targets for Nuclear Medicine Purposes // Molecules. 2022. V. 27(10):3179. <https://doi.org/10.3390/molecules27103179>.
4. Kye Y.U., Shin S.G., Cho M.H. et al. Measurement of isomeric yield ratios of 197m,gPt and 190m2,g+m1Ir from the 198Pt($γ$,n) and natPt($γ$,xn1p) reactions induced by 55-, 60-, and 65-MeV bremsstrahlung // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2015. V. 351. P. 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2015.03.079>.
5. **Van Do N., Khue P.D., Thanh K.T.** et al. Measurement of isomeric yield ratios for the natHo ($γ$,xn) 164m,gHo, 162m,gHo reactions in the bremsstrahlung energy region from 45 to 65 MeV // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2013. V. 298(2). P. 1447–1452. <https://doi.org/10.1007/s10967-013-2608-6>.
6. **Yang S.C., Kim G., Zaman M.** et al. Isomeric yield ratios of 148Pm from the natSm($γ$,x) and the natNd(p,xn) reactions // J. Radioanal. Nucl. Chem. 2014. V. 302. P. 467–476. <https://doi.org/10.1007/s10967-014-3284-x>.
7. **Yang S.C., Kim K., Zaman M.** et al. Isomeric yield ratios for the natNd($γ$,xn) 139m,g; 141m,gNd reactions in the bremsstrahlung energy region from 45 to 60 MeV // J. Radioanal. Nucl. Chem. 2014. V. 300. P. 367–377. <https://doi.org/10.1007/s10967-014-2933-4>.