

Предложение на участие в ежегодном конкурсе ОИЯИ 2021, в категории научно-исследовательские экспериментальные работы, с циклом работ:

«Спектрометрия изотопов No и Rf на сепараторе SHELS».

Авторский коллектив:

ЛЯР ОИЯИ

*Свирихин А.И., Еремин А.В., Попеко А.Г., Малышев О.Н., Попов Ю.А., Исаев А.В.,
Тезекбаева М., Мухин Р.С.*

IJCLab, IN2P3-CNRS, Университет Париж–Сакле, Орсе, Франция

Лопез-Мартенс А., Хошильд К.

В последние годы, с развитием экспериментальных методик физики тяжелых ионов, область ядер тяжелее фермия ($Z = 100$) стала доступна для детального изучения. Характеристики радиоактивного распада тяжелых и сверхтяжелых ядер, получаемых на высокоинтенсивных пучках многозарядных ионов циклотрона У-400 ЛЯР, дают представление о свойствах и пределах стабильности ядерной материи. С использованием сепаратора продуктов реакций полного слияния SHELS [1,2] и широкого набора детектирующих сборок, наша группа, за последние годы, значительно продвинулась в изучении свойств распада ядер из указанной области.

Для сильно нейтронодефицитного изотопа ^{249}No , впервые синтезированного в эксперименте на сепараторе SHELS в 2020 году [3], были измерены период полураспада ($T_{1/2} = 38,1 \pm 2,5$ мс), энергия α -частиц ($E\alpha = 9129$ кэВ), оценена вероятность спонтанного деления ($b_{\text{SF}} \leq 0,23\%$). Для $^{252,254}\text{No}$ [4] и ^{254}Rf [5] изучались характеристики спонтанного деления, такие как ТКЕ и выход мгновенных нейтронов, уточнялись данные по парциальным периодам полураспада. Для ^{254}No и ^{254}Rf среднее число нейтронов на спонтанное деление определялось впервые и составило 4.88 ± 0.53 и 3.87 ± 0.34 , соответственно. С использованием усовершенствованного метода статистической регуляризации [6], восстанавливались распределения мгновенных нейтронов спонтанного деления по множественностям. Для короткоживущего изотопа ^{252}No нейтронные выходы измерены с рекордной точностью [7].

Для более тяжелых изотопов нобелия и резерфордия, с использованием детектирующей системы GABRIELA [8] проводилось детальное изучение ядерных уровней, как в основном, так и в изомерных состояниях. При изучении ядерных уровней изотопа ^{256}No впервые было обнаружено короткоживущее высоко-спиновое k-изомерное состояние [9], которое уверенно идентифицируется как одно-квазичастичное нейтронное состояние ($11/2^- [725]$). Удастся проследить уменьшение энергии возбуждения этого состояния с увеличением атомного номера изотопов с $N=153$. Например, при изучении тонкой структуры α -распада ^{257}Rf [10] обнаружено аналогичное состояние при энергии уровня всего 75 кэВ выше основного состояния.

В эксперименте по уточнению характеристик распада ^{253}Rf [11], спонтанное деление было подтверждено в качестве основной моды распада, однако, также был впервые зарегистрирован α -распад этого ядра, приводящий к образованию ранее полученного изотопа ^{249}No [3] ($b_{\alpha}=17 \pm 6\%$). Кроме того, было обнаружено два спонтанно-делящихся короткоживущих низколежащих состояния ядра ^{253}Rf , с сильным отличием в периоде полураспада. Одно из этих состояний (с периодом полураспада 0.66 мс), зарегистрировано впервые и может быть отнесено к высоко-спиновому k-изомерному состоянию ^{253}Rf .

Наши результаты расширяют представление о поведении ядерной материи в области нейтроно-дефицитных трансфермиевых ядер. Измерения парциальных периодов полураспада, энергии распада и изомерии тяжелых ядер дополняют теории строения ядра,

а также позволяют оценить границы существования ядер. Несмотря на то, что работы в этой области значительно ограничиваются низкими сечениями образования в реакциях полного слияния, методики, реализуемые на сепараторе SHELS, позволяют синтезировать искомые ядра в количествах, достаточных для подробного изучения характеристик радиоактивного распада.

Результаты представлены в следующих публикациях:

1. Yeremin, A.V., Popeko, A.G., Malyshev, O.N., Isaev, A.V., Kuznetsova, A.A., Popov, Y.A., Svirikhin, A.I., Sokol, E.A., Tezekbayeva, M.S., Chelnokov, M.L., Chepigin, V.I., Lopez-Martens, A., Hauschild, K., Dorvaux, O., Gall, B., Piot, J., Antalic, S., Mosat, P., Tonev, D., Stefanova, E., "Spectroscopy of the Isotopes of Transfermium Elements in Dubna: Current Status and Prospects", 2020, Physics of Atomic Nuclei, 83 (4), pp. 503-512.
2. Yeremin, A., Lopes-Martens, A., Hauschild, K., Popeko, A., Malyshev, O., Chepigin, V., Svirikhin, A., Isaev, A., Popov, Y., Chelnokov, M., Kuznetsova, A., Dorvaux, O., Gall, B., Asfari, Z., Tezekbaeva, M., Piot, J., Antalic, S., "Velocity filter SHELS: Performance and experimental results", 2020, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 463, pp. 219-220.
3. Svirikhin, A.I., Yeremin, A.V., Zamyatin, N.I., Izosimov, I.N., Isaev, A.V., Kuznetsova, A.A., Malyshev, O.N., Mukhin, R.S., Popeko, A.G., Popov, Y.A., Sokol, E.A., Sailaubekov, B., Tezekbayeva, M.S., Chelnokov, M.L., Chepigin, V.I., Andel, B., Antalic, S., Bronis, A., Mosat, P., Gall, B., Dorvaux, O., Lopez-Martens, A., Hauschild, K., "The New 249No Isotope", 2021, Physics of Particles and Nuclei Letters, 18 (4), pp. 445-448.
4. Isaev, A.V., Andreev, A.V., Chelnokov, M.L., Chepigin, V.I., Izosimov, I.N., Kuznetsova, A.A., Malyshev, O.N., Mukhin, R.S., Popeko, A.G., Popov, Y.A., Shneidman, T.M., Sokol, E.A., Svirikhin, A.I., Tezekbayeva, M.S., Yeremin, A.V., Zamyatin, N.I., Brionnet, P., Dorvaux, O., Gall, B., Kessaci, K., Sellam, A., Hauschild, K., Lopez-Martens, A., Antalic, S., Mosat, P., "Comparative Study of Spontaneous-Fission Characteristics of 252No and 254No Isotopes", 2021, Physics of Particles and Nuclei Letters, 18 (4), pp. 449-456.
5. Svirikhin, A.I., Andreev, A.V., Yeremin, A.V., Zamyatin, N.I., Izosimov, I.N., Isaev, A.V., Kuznetsov, A.N., Kuznetsova, A.A., Malyshev, O.N., Popeko, A.G., Popov, Y.A., Sokol, E.A., Tezekbayeva, M.S., Chelnokov, M.L., Chepigin, V.I., Schneidman, T.M., Andel, B., Antalic, S., Bronis, A., Mosat, P., Gall, B., Dorvaux, O., Retaillieu, B.M., Hauschild, K., Lopez-Martenz, A., Chauveau, P., Stefanova, E., Tonev, D. "Prompt Neutrons from Spontaneous 254Rf Fission", 2019, Physics of Particles and Nuclei Letters, 16 (6), pp. 768-771.
6. Mukhin, R.S., Dushin, V.N., Eremin, A.V., Izosimov, I.N., Isaev, A.V., Svirikhin, A.I., "Reconstruction of Spontaneous Fission Neutron Multiplicity Distribution Spectra by the Statistical Regularization Method", 2021, Physics of Particles and Nuclei Letters, 18 (4), pp. 439-444.
7. Isaev, A.V., Yeremin, A.V., Zamyatin, N.I., Izosimov, I.N., Kuznetsova, A.A., Malyshev, O.N., Mukhin, R.S., Popeko, A.G., Popov, Yu.A., Sailaubekov, B., Svirikhin, A.I., Sokol, E.A., Tezekbayeva, M.S., Testov, D.A., Chelnokov, M.L., Chepigin, V.I., Antalic, S., Mosat, P., Brionnet, P., Gall, B., Dorvaux, O., Kessaci, K., Sellam, A., Lopez-Martens, A., Hauschild, K. "Detector system SFiNx" to be published in Physics of Particles and Nuclei Letters, 19 (4), 2022.
8. Chakma, R., Hauschild, K., Lopez-Martens, A., Yeremin, A.V., Malyshev, O.N., Popeko, A.G., Popov, Y.A., Svirikhin, A.I., Chepigin, V.I., Dorvaux, O., Gall, B., Kessaci, K., "Gamma and conversion electron spectroscopy using GABRIELA", 2020, European Physical Journal A, 56 (10), art. no. 245.

9. Kessaci, K., Gall, B.J.P., Dorvaux, O., Lopez-Martens, A., Chakma, R., Hauschild, K., Chelnokov, M.L., Chepigin, V.I., Forge, M., Isaev, A.V., Izosimov, I.N., Katrsev, D.E., Kuznetsova, A.A., Malyshev, O.N., Mukhin, R., Piot, J., Popeko, A.G., Popov, Y.A., Sokol, E.A., Svirikhin, A.I., Tezekbayev, M.S., Yeremin, A.V., «Evidence of high-k isomerism in ^{256}No », 2021, Physical Review C, 104 (4), art. no. 044609.
10. Hauschild, K., Lopez-Martens, A., Chakma, R., Dorvaux, O., Gall, B.J.P., Chelnokov, M.L., Chepigin, V.I., Isaev, A.V., Izosimov, I.N., Katrsev, D.E., Kuznetsova, A.A., Malyshev, O.N., Popeko, A.G., Popov, Yu.A., Sokol, E.N., Svirikhin, A.I., Tezekbayeva, M., Yeremin, A.V., Ackermann, D., Piot, J., Mosat, P., Andel, B., “Alpha-decay spectroscopy of ^{257}Rf ”, submitted to Eur. Phys. J. A (July 2021).
11. Lopez-Martens, A., Hauschild, K., Svirikhin, A.I., Asfari, Z., Chelnokov, M.L., Chepigin, V.I., Dorvaux, O., Forge, M., Gall, B.J.P., Isaev, A.V., Izosimov, I.N., Kessaci, K., Kuznetsova, A.A., Malyshev, O.N., Mukhin, R.S., Popeko, A.G., Popov, Yu.A., Sailaubekov, B., Sokol, E.A., Tezekbayeva, M.S., Yeremin, A.V., “On the fission properties of ^{253}Rf and the stability of neutron-deficient Rf isotopes” submitted to Phys. Rev. Lett. (October 2021).