УТВЕРЖДАЮ

Директор ЛЯР ОИЯИ

С.И. Сидорчук

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

"??" ?? 2024 г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Научно-технического совета**

**Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ**

по диссертации **Коврижных Никиты Дмитриевича** «Изучение радиоактивных свойств ядер в цепочках распада изотопов Mc и сечений их образования в реакции 243Am+48Ca», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Диссертационная работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований (ЛЯР ОИЯИ). В период подготовки диссертации Коврижных Н.Д. работал в должности младшего научного сотрудника ЛЯР ОИЯИ. Диссертационная работа была представлена Коврижных Н.Д. на Общелабораторном семинаре ЛЯР 14 февраля 2024 г., в котором приняли участие сотрудники Лаборатории ядерных реакций и Лаборатории теоретической физики ОИЯИ. По результатам обсуждения было подготовлено **следующее заключение**:

**Актуальность работы.**

С 1998 года в ЛЯР проводятся эксперименты по синтезу сверхтяжелых ядер в реакциях 48Са с ядрами актинидных элементов. В результате была открыта область сверхтяжелых нуклидов, синтезировано 6 новых элементов 113-118 и более 50 новых изотопов. Исследование сверхтяжелых ядер стало одним из важнейших направлений в ядерной физике.

Однако было обнаружено, что сечения образования ядер падают в 15-20 раз при переходе от элементов Fl, Mc к Og. Для продолжения исследований и синтеза новых элементов с более высокой чувствительностью в ЛЯР ОИЯИ создана «Фабрика сверхтяжелых элементов» на базе циклотрона ДЦ-280 с интенсивностью ускоряемых частиц на порядок выше возможностей У-400 и аналогичных ускорителей в других научных центрах. Для увеличения эффективности регистрации ядер был создан новый сепаратор DGFRS-2.

В настоящей работе проведено первое изучение возможностей сепаратора непосредственно в экспериментах по синтезу сверхтяжёлых ядер. Возросшая чувствительность экспериментов позволила более глубоко изучить свойства распада изотопов Mc и их дочерних ядер.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Впервые зарегистрирован α-распад 268Db, синтезирован новый спонтанно делящийся изотоп 264Lr и измерены свойства их распада.
2. Впервые синтезирован новый сверхтяжёлый изотоп 286Mc и уточнены свойства распада дочерних ядер вплоть до 266Db.
3. Впервые зарегистрировано спонтанное деление 279Rg.
4. Измерена функция возбуждения реакции в интервале энергии 48Са от 239 до 259 МэВ. Сечение 3*n*-испарительного канала реакции оказалось в 2 раза больше ранее измеренного значения. Впервые измерено сечение 5*n*-испарительного канала реакции.
5. Показана низкая вероятность *p*2*n*-канала реакции по сравнению с каналами с испарением нейтронов. Установлена верхняя граница ветви на электронный захват для 288Mc и 284Nh.
6. Показано, что трансмиссия DGFRS-2 в два раза больше, чем у DGFRS.
7. Измерен заряд ионов Mc при давлениях водорода, отличных от тех, что были в экспериментах на DGFRS. Измерены заряды ионов Th, Ds и Lv. С учетом этих данных получена новая систематика зарядов ионов в водороде для широкого интервала скоростей.

**Научная новизна работы.**

1. Эксперименты, проведённые на новом сепараторе DGFRS-2, показали, что он в сравнении с DGFRS имеет вдвое большую трансмиссию, что в совокупности с подавлением фона позволило надежно зарегистрировать 125 новых цепочек распада изотопов Mc.
2. Открыты новые изотопы 264Lr и 286Mc.
3. Были впервые зарегистрированы -распад 268Db и спонтанное деление 279Rg.
4. Более детально определены свойства распада 20 ранее известных изотопов от 287-289Mc до 266-268Db.
5. Измерена функция возбуждения реакции 243Am+48Са в интервале энергии возбуждения составного ядра 291Mc от 32.5 до 50.4 МэВ. Показано, что сечение реакции 243Am(48Са,3*n*)288Mc вдвое превосходит ранее измеренное значение.

**Личный вклад автора.** Автор принимал активное участие в подготовке и проведении экспериментов, в анализе и обсуждении результатов, подготовке статей к публикации. Автором были отобраны и проанализированы результаты экспериментов по синтезу ядер с нечетным числом протонов в реакциях 48Са с 237Np, 243Am, 249Bk, ранее проведенных на сепараторах DGFRS (ЛЯР), TASCA (Дармштадт, ФРГ) и BGS (Беркли, США). Используя всю совокупность известных данных и результатов описанных в работе экспериментов, автором вычислены свойства распада ядер и сечения из образования в указанных реакциях.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов обеспечивается хорошим согласием полученных экспериментальных результатов с результатами опытов по синтезу изотопов 115 элемента на сепараторах DGFRS, TASCA, BGS и опыта по измерению массы изотопа 288115 и продукта его -распада 284113 на сепараторе BGS со спектрометром FIONA**.**

**Практическая значимость работы.**

Измеренные радиоактивные свойства ядер, синтезированных в реакции 243Am(48Са,2-5*n*)286-289Mc, используются для развития новых и совершенствования существующих теоретических моделей, описывающих и предсказывающих свойства ядер. Измерение функции возбуждения реакции также позволяет глубже понять механизмы образования ядер в реакциях полного слияния. Кроме того, измеренные сечения указанных реакций, а также свойства новых нуклидов используются при планировании экспериментов по синтезу соседних сверхтяжелых ядер.

На примере эксперимента по синтезу тяжелых ядер были изучены параметры газонаполненного сепаратора DGFRS-2 и продемонстрирована его готовность к продолжению исследований на Фабрике сверхтяжелых элементов ЛЯР ОИЯИ.

Измерены заряды Mc при разном давлении водорода в сепараторе, ионов Ds и Lv, а также ионов Th при больших скоростях. Получена новая систематика зарядов ионов в водороде для широкого интервала скоростей, которая необходима для проведения экспериментов по синтезу ядер в реакциях с ионами тяжелее 48Са.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:** соискатель является соавтором 17 научных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 5 работ, из них 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК и включенных в системы цитирования Scopus и/или Web of Science и РИНЦ.

Основные результаты работы представлены в следующих публикациях:

1. Yu. Ts. Oganessian, V. K. Utyonkov, N. D. Kovrizhnykh, F. Sh. Abdullin, S. N. Dmitriev, D. Ibadullayev, M. G. Itkis, D. A. Kuznetsov, O. V. Petrushkin, A. V. Podshibiakin, A. N. Polyakov, A. G. Popeko, R. N. Sagaidak, L. Schlattauer, I. V. Shirokovski, V. D. Shubin, M. V. Shumeiko, D. I. Solovyev, Yu. S. Tsyganov, A. A. Voinov, V. G. Subbotin, A. Yu. Bodrov, A. V. Sabel’nikov, A. V. Khalkin, V. B. Zlokazov, K. P. Rykaczewski, T. T. King, J. B. Roberto, N. T. Brewer, R. K. Grzywacz, Z. G. Gan, Z. Y. Zhang, M. H. Huang, and H. B. Yang. First experiment at the Super Heavy Element Factory: High cross section of 288Mc in the 243Am+48Ca reaction and identification of the new isotope 264Lr. Phys. Rev. C **106**, L031301 (2022).
2. Yu. Ts. Oganessian, V. K. Utyonkov, N. D. Kovrizhnykh, F. Sh. Abdullin, S. N. Dmitriev, A. A. Dzhioev, D. Ibadullayev, M. G. Itkis, A. V. Karpov, D. A. Kuznetsov, O. V. Petrushkin, A. V. Podshibiakin, A. N. Polyakov, A. G. Popeko, I. S. Rogov, R. N. Sagaidak, L. Schlattauer, V. D. Shubin, M. V. Shumeiko, D. I. Solovyev, Yu. S. Tsyganov, A. A. Voinov, V. G. Subbotin, A. Yu. Bodrov, A. V. Sabel’nikov, A. V. Khalkin, K. P. Rykaczewski, T. T. King, J. B. Roberto, N. T. Brewer, R. K. Grzywacz, Z. G. Gan, Z. Y. Zhang, M. H. Huang, and H. B. Yang. New isotope 286Mc produced in the 243Am + 48Ca reaction. Phys. Rev. C **106**, 064306 (2022).
3. Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, D.I. Solovyev, F.Sh. Abdullin, S.N. Dmitriev, D. Ibadullayev, M.G. Itkis, N.D. Kovrizhnykh, D.A. Kuznetsov, O.V. Petrushkin, A.V. Podshibiakin, A.N. Polyakov, A.G. Popeko, R.N. Sagaidak, L. Schlattauer, V.D. Shubin, M.V. Shumeiko, Yu.S. Tsyganov, A.A. Voinov, V.G. Subbotin, A.Yu. Bodrov, A.V. Sabel’nikov, K.P. Rykaczewski, T.T. King, J.B. Roberto, N.T. Brewer, R.K. Grzywacz, Z.G. Gan, Z.Y. Zhang, M.H. Huang, H.B. Yang. Average charge states of heavy ions in rarefied hydrogen. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A **1048**, 167978 (2023).
4. N. D. Kovrizhnykh, Yu. Ts. Oganessian, V. K. Utyonkov, F. Sh. Abdullin, S. N. Dmitriev, A. A. Dzhioev, D. Ibadullayev, M. G. Itkis, A. V. Karpov, D. A. Kuznetsov, O. V. Petrushkin, A. V. Podshibiakin, A. N. Polyakov, A. G. Popeko, I. S. Rogov, R. N. Sagaidak, L. Schlattauer, V. D. Shubin, M. V. Shumeiko, D. I. Solovyev, Yu. S. Tsyganov, A. A. Voinov, V. G. Subbotin, A. Yu. Bodrov, A. V. Sabel’nikov, and A. V. Khalkin. First Experiment at the Super Heavy Element Factory: New Data from the 243Am + 48Ca Reaction. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics **87**, 1098 (2023).
5. Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, A.G. Popeko, D.I. Solovyev, F.Sh. Abdullin, S.N. Dmitriev, D. Ibadullayev, M.G. Itkis, N.D. Kovrizhnykh, D.A. Kuznetsov, O.V. Petrushkin, A.V. Podshibiakin, A.N. Polyakov, R.N. Sagaidak, L. Schlattauer, I.V. Shirokovsky, V.D. Shubin, M.V. Shumeiko, Yu.S. Tsyganov, A.A. Voinov, V.G. Subbotin, V.V. Bekhterev, N.A. Belykh, O.A. Chernyshev, K.B. Gikal, G.N. Ivanov, A.V. Khalkin, V.V. Konstantinov, N.F. Osipov, S.V. Paschenko, A.A. Protasov, V.A. Semin, V.V. Sorokoumov, K.P. Sychev, V.A. Verevochkin, B.I. Yakovlev, S. Antoine, W. Beeckman, P. Jehanno, M.I. Yavor, A.P. Shcherbakov, K.P. Rykaczewski, T.T. King, J.B. Roberto, N.T. Brewer, R.K. Grzywacz, Z.G. Gan, Z.Y. Zhang, M.H. Huang, H.B. Yang. DGFRS-2 –A gas-filled recoil separator for the Dubna Super Heavy Element Factory**.** Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **1033**, 166640 (2022).

Диссертация «Изучение радиоактивных свойств ядер в цепочках распада изотопов Mc и сечений их образования в реакции 243Am+48Ca» Коврижных Никиты Дмитриевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

г. Дубна, ?? ?? 2024 г.

В.К. Утенков

председатель НТС ЛЯР