

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ЛЯР ОИЯИ, профессор  
С.Н. Дмитриев

---

"25" мая 2018 г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**Научно-технического совета**  
**Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ**

по диссертации **Чернышевой Елены Владимировны** «Экспериментальное исследование процессов слияния-деления и квазиделения в реакциях ионов  $^{48}\text{Ca}$  с мишенями  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{244}\text{Pu}$  и  $^{248}\text{Cm}$  при энергиях вблизи кулоновского барьера», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертационная работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного Института Ядерных Исследований (ЛЯР ОИЯИ). В период подготовки диссертации Чернышева Е. В. работала в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ в должности инженера и младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа была представлена Е.В. Чернышевой на семинаре физических секторов ЛЯР ОИЯИ 27 апреля 2018 г. В работе семинара приняли участие 34 сотрудника Лаборатории ядерных реакций и Лаборатории теоретической физики ОИЯИ. По результатам обсуждения было подготовлено **следующее заключение:**

**Актуальность работы:** Значительный интерес к изучению характеристик процессов слияния-деления и квазиделения атомных ядер при энергиях вблизи кулоновского барьера связан с проводимыми в настоящее время экспериментами по синтезу новых сверхтяжелых ядер. Известно, что в реакциях взаимодействия тяжелых ядер значительным препятствием к их слиянию является конкурирующий процесс квазиделения. На конкуренцию процессов квазиделения и слияния-деления оказывают влияние такие свойства входного канала реакции, как массовая асимметрия, кулоновский параметр взаимодействующих ядер  $Z_1Z_2$ , их деформации и взаимная ориентация, магичность, отношение  $N/Z$ , а также энергия налетающих ионов и вно-

симый в систему угловой момент. Для нахождения оптимальных условий входного канала реакции для образования составного ядра необходима информация о вкладах сечений слияния-деления и квазиделения в сечение захвата реакции. Расчеты, выполненные на основании динамических уравнений Ланжевена, показывают, что на поверхности потенциальной энергии сверхтяжелых ядер есть две глубокие долины, по которым развивается процесс квазиделения. Это долина дважды магического свинца, приводящая к асимметричному квазиделению  $QF_{\text{asym}}$  (или  $QF_1$ ) с массовой асимметрией  $\eta = (M_1 - M_2)/(M_1 + M_2) \sim 0.45$  и долина дважды магического олова  $QF_{\text{sym}}$  (или  $QF_2$ ), массовая асимметрия в которой составляет  $\sim 0.1$ . Если фрагменты асимметричного квазиделения  $QF_{\text{asym}}$  можно отделить от фрагментов слияния-деления по увеличению дисперсии массовых распределений  $\sigma_M$ , то разделение фрагментов симметричного квазиделения  $QF_{\text{sym}}$  и слияния-деления является сложной экспериментальной задачей. Поэтому чрезвычайно важно изучать отличительные характеристики обоих процессов для получения критериев их разделения.

В диссертации исследовались характеристики процессов слияния-деления и квазиделения в реакциях взаимодействия налетающих дважды магических ионов  $^{48}\text{Ca}$  как с дважды магическим сферическим ядром  $^{208}\text{Pb}$ , так и с деформированными актинидными мишенями  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{244}\text{Pu}$ ,  $^{248}\text{Cm}$  при энергиях вблизи кулоновского барьера реакции. Были получены сечения захвата  $\sigma_c$ , слияния-деления  $\sigma_{\text{ff}}$  и квазиделения  $\sigma_{\text{Qf}}$  в этих реакциях, что позволило оценить вероятности слияния  $P_{\text{CN}}$  и вероятности выживания  $W_{\text{sur}}$  сверхтяжелых ядер с  $Z = 112, 114, 116$ .

### **Научная новизна работы:**

1. Впервые были измерены массово-энергетические распределения (МЭР) фрагментов деления и квазиделения в реакциях  $^{48}\text{Ca} + ^{232}\text{Th}$ ,  $^{244}\text{Pu}$ ,  $^{248}\text{Cm}$  при энергии налетающих ионов  $E_{\text{lab}} = 226-244$  МэВ. Исследовались структурные особенности МЭР фрагментов, проявление эффектов замкнутых оболочек в массовых распределениях фрагментов деления и квазиделения.
2. Впервые для реакций ионов  $^{48}\text{Ca}$  с актинидными мишенями  $^{238}\text{U}$ ,  $^{244}\text{Pu}$ ,  $^{248}\text{Cm}$  на основе анализа энергетических распределений было проведено разделение процессов слияния-деления, симметричного  $QF_{\text{sym}}$  и асимметричного  $QF_{\text{asym}}$  квазиделения. С помощью этих данных получена верхняя оценка се-

чений слияния-деления  $\sigma_{FF}$  в этих реакциях, вероятности слияния  $P_{CN}$  и выживания составных ядер  $W_{sur}$ , а также величины барьеров деления для ядер  $^{283-286}\text{Cn}$ ,  $^{289-292}\text{Fl}$ , и  $^{293-296}\text{Lv}$ .

3. Впервые обнаружено бимодальное деление составного ядра  $^{256}\text{No}$ , образованного в реакции  $^{48}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}$  при энергиях возбуждения  $E^* = 17-35$  МэВ.

**Личный вклад автора.** Автор принимала непосредственное участие во всех этапах подготовки и проведения экспериментов, в обработке экспериментальных данных, их анализе и обсуждении, а также в подготовке статей к публикации. Автором были написаны и адаптированы программы, используемые для обработки экспериментальных данных. Автором проведен анализ факторов, влияющих на массовое и энергетическое разрешение для различных конструкций время-пролетных спектрометров, выбран оптимальный вариант конструкции для проведения экспериментов на спектрометре CORSET, позволяющий получать массово-энергетические распределения фрагментов деления и квазиделения с необходимой точностью. Проведен анализ полученных экспериментальных данных. Вклад автора отражают основные результаты диссертации и положения, выносимые на защиту.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов обеспечивается тем, что полученные в настоящей работе данные по сечениям захвата в реакциях  $^{48}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}$  и  $^{48}\text{Ca}+^{238}\text{U}$  находятся в согласии с результатами других авторов. Наблюдаемые тенденции в поведении сечений слияния-деления ядер при переходе от ядра с  $Z=112$  к  $Z=116$  находятся в согласии с измеренными в ЛЯР ОИЯИ сечениями образования испарительных остатков сверхтяжелых ядер с  $Z=112, 114, 116$ .

#### **Практическая значимость работы:**

Разработанные в диссертации методы обработки и анализа экспериментальных данных могут применяться в экспериментах с использованием время-пролетной методики, что позволит повысить надежность и точность измерений массово-энергетических распределений фрагментов и выделения различных каналов реакции. Полученные в настоящей работе экспериментальные данные по сечениям захвата, слияния-деления и квазиделения для реакций  $^{48}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{244}\text{Pu}$ ,  $^{248}\text{Cm}$  при энергиях возбуждения от  $E^*= 13$  до 45 МэВ могут быть использованы для тестирования теоретических моделей, описывающих динамику слияния тяже-

лых ядер. Метод разделения фрагментов деления и симметричного  $QF_{\text{sym}}$  и асимметричного  $QF_{\text{asym}}$  квазиделения на основе анализа их энергетических распределений может быть применен к другим комбинациям входного канала реакции, ведущим к образованию сверхтяжелых композитных систем. Информация о конкуренции каналов слияния-деления и квазиделения в реакциях ионов  $^{48}\text{Ca}$  с актинидными мишенями может быть использована для оценки возможности перехода к реакциям слияния с более тяжелыми налетающими ионами, такими, как  $^{50}\text{Ti}$ ,  $^{54}\text{Cr}$ ,  $^{64}\text{Ni}$  или экзотическими ядрами.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:** Материалы диссертации докладывались автором на 6 международных конференциях и совещаниях, а также на научных семинарах Лаборатории ядерных реакций Объединенного Института Ядерных Исследований (Дубна, Россия).

По материалам диссертации опубликовано 14 работ, из них в журналах, включенных в перечень ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук – 9, а также в журналах, включенных в системы цитирования Scopus и/или Web of Science – 9.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Э.М. Козулин, А.А. Богачев, М.Г. Иткис, Ю.М. Иткис, Г.Н. Княжева, Н.А. Кондратьев, Л. Крупа, И.В. Покровский, Е.В. Прохорова. *Время-пролетный спектрометр CORSET для измерения бинарных продуктов ядерных реакций*. Приборы и Техника Эксперимента, Т.51, №.1 (2008) с.44-58.
2. E.V. Prokhorova, A.A. Bogachev, M.G. Itkis, I.M. Itkis, G.N. Knyazheva, N.A. Kondratiev, E.M. Kozulin, L. Krupa, Yu.Ts. Oganessian, and I.V. Pokrovsky, V.V. Pashkevich, A.Ya. Rusanov. *The fusion-fission and quasi-fission processes in the reaction  $^{48}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}$  at energies near the Coulomb barrier*. Nuclear Physics A Vol.802 p.45-66 (2008).
3. E. M. Kozulin, G. N. Knyazheva, I. M. Itkis, M. G. Itkis, A. A. Bogachev, E. V. Chernysheva, L. Krupa, F. Hanappe, O. Dorvaux, L. Stuttgé, W. H. Trzaska, C. Schmitt, G. Chubarian. *Fusion-fission and quasifission of superheavy systems*

- with  $Z = 110-116$  formed in  $^{48}\text{Ca}$ -induced reactions. *Physical Rev. C* **90** (2014) 054608.
4. E. V. Chernysheva, E. M. Kozulin, I. M. Itkis, G. N. Knyazheva, L. Krupa *The study of fusion-fission and quasifission processes in the reactions  $^{48}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{244}\text{Pu}$ ,  $^{248}\text{Cm}$* , Proceedings of the Int.Symposium on Exotic Nuclei, Kazan, Russia, 2016, World Scientific, World Scientific, Singapore, 2017, p.143-154.
  5. E. V. Chernysheva, E. M. Kozulin, I. M. Itkis, G. N. Knyazheva, *Mass and energy resolutions in 2V-method*, Proceedings of the Int.Symposium on Exotic Nuclei, Kazan, Russia, 2016, World Scientific, Singapore, 2017, p.309-314.
  6. M. G. Itkis, A. A. Bogachev, E. V. Chernysheva, I. M. Itkis, G. N. Knyazheva, and E. M. Kozulin. *Fission and Quasifission in the "Warm" Fusion Reactions*. AIP Conf. Proc. 1238, 52 (2010)
  7. M. G. Itkis, A. A. Bogachev, I. M. Itkis, J. Kliman, G. N. Knyazheva, N. A. Kondratiev, E. M. Kozulin, L. Krupa, Yu. Ts. Oganessian, I. V. Pokrovsky, E. V. Prokhorova, A. Ya. Rusanov. *The processes of fusion-fission and quasi-fission of superheavy nuclei*. Nuclear Physics A 787 (2007) 150
  8. E. V. Prokhorova, A. A. Bogachev, I. M. Itkis, M. G. Itkis, J. Kliman, G. N. Knyazheva, N. A. Kondratiev, E. M. Kozulin, L. Krupa, Yu. Ts. Oganessian, I. V. Pokrovsky, A. Ya. Rusanov, V. M. Voskresensky, V. Bouchat, F. Hanappe, T. Materna, O. Dorvaux, N. Rowley, C. Schmitt, L. Stuttge, *Shell effect manifestation in mass-energy distributions of fission and quasi-fission fragments of nuclei with  $Z=102-122$* . Proceedings of the Int.Symposium on Exotic Nuclei, Peterhof, Russia, 2004, World Scientific, Singapore p.325
  9. M. G. Itkis, A. A. Bogachev, I. M. Itkis, G. N. Knyazheva, N. A. Kondratiev, E. M. Kozulin, L. Krupa, Yu. Ts. Oganessian, I. V. Pokrovsky, E. V. Prokhorova, A. Ya. Rusanov, *The Process of Fusion-Fission of Superheavy Nuclei*. International Journal of Modern Physics E Vol.16 (2007) p.957.
  10. M.G.Itkis, J.Äystö, S.Beghini, A.A.Bogachev, L.Corradi, O.Dorvaux, A.Gadea, G.Giardina, F.Hanappe, I.M.Itkis, M.Jandel, J.Kliman, S.V.Khlebnikov,

- G.N.Kniajeva, N.A.Kondratiev, E.M.Kozulin, L.Krupa, A.Latina, T.Materna, G.Montagnoli, Yu.Ts.Oganessian, I.V.Pokrovsky, E.V.Prokhorova, N.Rowley, V.A.Rubchenya, A.Ya.Rusanov, R.N.Sagaidak, F.Scarlassara, A.M.Stefanini, L.Stuttge, S.Szilner, M.Trotta, W.H.Trzaska, D.N.Vakhtin, A.M.Vinodkumar, V.M.Voskressenski, V.I.Zagrebaev. *Fusion-fission and quasi-fission of heavy and superheavy nuclei*. Nuclear Physics A 734, (2004) p. 136-147
11. M.G.Itkis, B.Benoit, A.A.Bogachev, D.M.Gorodisskiy, F.Hanappe, I.M.Itkis, M.Jandel, J.Kliman, N.A.Kondratiev, E.M.Kozulin, L.Krupa, T.Materna, Yu.Ts.Oganessian, I.V.Pokrovsky, E.V.Prokhorova, A.Ya.Rusanov, L.Stuttge, V.M.Voskressenski. *Energy balance in fission and quasifission of  $^{256}\text{No}$* . Nuclear Physics A 734, Suppl. 1, (2004 ) E29-E32
  12. M. G. Itkis, A. A. Bogatchev, I. M. Itkis, M. Jandel, J. Kliman, G. N. Kniajeva, N. A. Kondratiev, I. V. Korzyukov, E. M. Kozulin, L. Krupa, Yu. Ts. Oganessian, I. V. Pokrovsky, V. A. Ponomarenko, E. V. Prokhorova, V. M. Voskresenski, A. Ya. Rusanov, A. A. Goverdovski, L. Corradi, A. Gadea, L. Latina, A. M. Stefanini, S. Szilner, M. Trotta, A. M. Vinodkumar, S. Beghini, G. Montagnoli and F. Scarlassara, F. Hanappe and T. Materna, O. Dorvaux, N. Rowley, L. Stuttge, G. Giardina, K. J. Moody. *Fusion-Fission of Heavy and Superheavy Nuclei*. In proc. VII International School-Seminar "Heavy Ion Physics", Dubna 2002, Eds. Yu.Ts.Oganessian & R.Kalpakchieva, Ядерная Физика , том.66, №.6 (2003) стр.1154-1160.
  13. M.G. Itkis, A.A. Bogatchev, I.M. Itkis, M. Jandel, J. Kliman G.N. Kniajeva, N.A. Kondratiev, I.V. Korzyukov, E.M. Kozulin, L. Krupa, Yu.Ts. Oganessian, I.V. Pokrovsky, V.A. Ponomarenko, E.V. Prokhorova, A.Ya.Rusanov, V.M. Voskresensky, A. A. Goverdovski, F. Hanappe, T. Materna, C.Shmitt, N. Rowley, L. Stuttge, G. Giardina, K. J. Moody; *Fusion-Fission of Superheavy Nuclei*, Journal of Nuclear and Radiochemical Science v.3. N1 (2002) p.57-61
  14. E. V. Prokhorova, M. G. Itkis Yu. Ts. Oganessian, E. M. Kozulin, A. A. Bogatchev, I. M. Itkis, M. Jandel, J. Kliman, G. N. Kniajeva, N. A. Kondratiev, I.V.Korzyukov, L.Krupa, I.V.Pokrovsky, A.Ya.Rusanov, V.M.Voskresenski, F.Hanappe, B.Benoit, T.Materna, N.Rowley, L.Stuttge, G.Giardina; *Mass-Energy Distributions of Fission Fragments of Superheavy Nuclei Produced in The Reactions*

*With  $^{48}\text{Ca}$  Ions*, In:Proc. of the International Conference on Nuclear Physics at Border Lines May 21-24, 2001 Lipari (Messina), Italy, World Scientific, Singapore, 2002, p.275-279

Диссертация «Экспериментальное исследование процессов слияния-деления и квазиделения в реакциях ионов  $^{48}\text{Ca}$  с мишенями  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{244}\text{Pu}$  и  $^{248}\text{Cm}$  при энергиях вблизи кулоновского барьера» Чернышевой Елены Владимировны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

г. Дубна, 25 мая 2018 г.

В.К. Утенков  
председатель НТС ЛЯР