УТВЕРЖДАЮ

Директор ЛЯР ОИЯИ

С.И. Сидорчук

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

"15" апреля 2022 г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Научно-технического совета**

**Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ**

по диссертации **Богачева Алексея Анатольевича** «Исследование деления, быстрого деления и квазиделения в реакциях с тяжелыми ионами, ведущими к образованию нейтронодефицитных 180,190Hg и 184Pb», 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 Богачев А.А. являлся сотрудником ОИЯИ и работал в должности младшего научного сотрудника. Диссертационная работа была представлена Богачевым А.А. на Общелабораторном семинаре ЛЯР 31 марта 2022 г. В работе семинара приняли участие 52 сотрудника Лаборатории Ядерных Реакций и Лаборатории Теоретической Физики ОИЯИ. По результатам обсуждения было подготовлено **следующее заключение**:

**Актуальность работы.**

Одним из современных направлений исследований в области ядерной физики является изучение свойств нейтронодефицитных ядер, далеко отстоящих от линии β-стабильности. Важной экспериментальной задачей является исследование механизма образования составного ядра, а также вероятность различных каналов реакции в зависимости от параметров входного канала. Настоящая работа направлена:

1. На изучение асимметричных и симметричных мод деления ядер свинцовой области в зависимости от их энергии возбуждения и нуклонного состава.
2. На исследование влияния углового момента на процесс образования и распада составной системы.
3. На изучение влияния параметров входного канала, таких как кулоновский параметр (Z1Z2) и массовая асимметрия, на механизм реакции.

**Научная новизна работы.**

1. При исследовании массово-энергетических распределений осколков деления возбужденных нейтронодефицитных ядер 180,190Hg, 184,192,202Pb было установлено, что протонные числа Z≈36 и Z≈45 оказывают существенное влияние на формирование фрагментов деления. Данный вывод подтверждается результатами анализа большого числа ядер свинцовой области.
2. Впервые были получены массово-энергетические распределения фрагментов быстрого деления, образующихся в реакции 40Ca+144Sm, а также определены их основные характеристики.
3. Из сравнения массово-энергетических распределений фрагментов, полученных в реакциях 68Zn+112Sn и 36Ar+144Sm, ведущих к образованию одного и того же ядра 180Hg, впервые было установлено доминирование процесса квазиделения в реакции с ионами 68Zn.

**Личный вклад автора.** Автор принимал активное участие в экспериментах, направленных на измерение массово-энергетических распределений делительноподобных продуктов реакции и обработке экспериментальных данных. Автором была предложена и впервые применена методика разделения процессов реакции методом вычитания двумерных массово-энергетических распределений фрагментов. Кроме того, автор проявил высокую степень самостоятельности в анализе, обсуждении и трактовании полученных характеристик различных процессов, протекающих в исследуемых реакциях в зависимости от энергии взаимодействия.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов обеспечивается их качественным согласием с уже имеющимися экспериментальными данными по делению ядер свинцовой области, полученными другими научными группами. Отличительной чертой и преимуществом настоящих исследований является достаточно точное измерение как массы, так и полной кинетической энергии продуктов реакций.

**Практическая значимость работы.**

Учет влияния оболочечных эффектов в области сферических ядер с Z=28 и Z=50, а также схожих структурных эффектов у деформированных ядер с Z≈36, Z≈45 на процесс деления позволяет с хорошей точностью воспроизвести массовые распределения фрагментов деления нейтронодефицитных ядер свинцовой области. Это заключение важно для понимания физики деления этой группы ядер, что позволит усовершенствовать теоретические модели, используемые для описания процесса деления ядер.

Показанная возможность разделения процессов слияния-деления и быстрого деления в зависимости от вносимого углового момента позволяет получать характеристики для каждого из этих процессов в отдельности.

Приведенные исследования систем с низким параметром делимости расширяют систематику реакций с тяжелыми ионами и предоставляют необходимые данные для разработки теоретических моделей, обладающих более широкой универсальностью. Большой вклад процесса квазиделения в общее число делительноподобных продуктов реакции 68Zn+112Sn указывает на то, что имеющиеся критерии оценки вероятностей процессов недооценивают влияние асимметрии входного канала на процесс распада относительно легких составных систем с Z≈80.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** По материалам диссертации опубликовано 7 работ, все из которых включены в перечень ВАК и в системы цитирования Scopus и/или Web of Science.

Основные результаты работы представлены в следующих публикациях:

1. A. A. Bogachev, E. M. Kozulin, G. N. Knyazheva, I. M. Itkis, M. G. Itkis, K. V. Novikov, D. Kumar, T. Banerjee, I. N. Diatlov, M. Cheralu, V. V. Kirakosyan, Y. S. Mukhamejanov, A. N. Pan, I. V. Pchelintsev, R. S. Tikhomirov, I. V. Vorobiev, M. Maiti, R. Prajapat, R. Kumar, G. Sarkar, W. H. Trzaska, A. N. Andreyev, I. M. Harca, and E. Vardaci, **Phys. Rev. C 104 (2021) 024623**// *Asymmetric and symmetric fission of excited nuclei of 180,190Hg and 184,192,202Pb formed in the reactions with 36Ar and 40,48Ca ions* DOI: 10.1103/PhysRevC 104.024623.
2. A. A. Bogachev, E. M. Kozulin, G. N. Knyazheva, I. M. Itkis, K. V. Novikov, T. Banerjee, M. Cheralu, M. G. Itkis, E. Mukhamedzhanov, D. Kumar, A. Pan, I. V. Pchelintsev, I. Vorob’ev, W. H. Trzaska, E. Vardaci, A. di Nitto, S. V. Khlebnikov, I. Harka,A. Andreyev, **Bull. Rus. Acad. Sci. Phys. 85 (2021)1080**// *Study of Binary Processes in the Reactions of 36Ar +144, 154Sm and 68Zn +112Sn Leading to the Formation of Neutron-Deficient Compound 180,190Hg Nuclei* DOI: 10.3103/S1062873821100105.
3. E. M. Kozulin, G. N. Knyazheva, A. A. Bogachev, V. V. Saiko, A. V. Karpov, I. M. Itkis, K. V. Novikov, Y. S. Mukhamejanov, I. V. Pchelintsev, I. V. Vorobiev, T. Banerjee, M. Cheralu, and Pushpendra P. Singh, **Phys. Rev. C 105, (2022) 024617**// *Experimental study of fast fission and quasifission in the 40Ca+208Pb reaction leading to the formation of the transfermium nucleus 248No* DOI: 10.1103/PhysRevC.105.024617.
4. E. M. Kozulin, G. N. Knyazheva, I. M. Itkis, M. G. Itkis, Y. S. Mukhamejanov, A. A. Bogachev, K. V. Novikov, V. V. Kirakosyan, D. Kumar, T. Banerjee, M. Cheralu, M. Maiti, R. Prajapat, R. Kumar, G. Sarkar, W. H. Trzaska, A. N. Andreyev, I. M. Harca, A. Mitu, and E. Vardaci, **Phys. Rev. C 105 (2022) 014607** // *Fission of 180,182,183Hg\*and 178Pt\* nuclei at intermediate excitation energies* DOI: 10.1103/PhysRevC.105.014607.
5. E.M.Kozulin, E.Vardaci, W.H.Trzaska, A.A.Bogachev, I.M.Itkis, A.V.Karpov, G.N.Knyazheva, K.V.Novikov, **Phys. Lett. B 819 (2021) 136442**// *Evidence of quasifission in the180Hg composite system formed in the 68Zn +112Sn reaction* DOI: 10.1016/j.physletb.2021.136442
6. D. Kumar, E. M. Kozulin, M. Cheralu, G. N. Knyazheva, I. M. Itkis, M. G. Itkis, K. V. Novikov, A. A. Bogachev, N. I. Kozulina, I. N. Diatlov, I. V. Pchelintsev, I. V. Vorobiev, T. Banerjee, Y. S. Mukhamejanov, A. N. Pan, V. V. Saiko, P. P. Singh, R. N. Sahoo, A. N. Andreyev, D. M. Filipescu, M. Maiti, R. Prajapat , R. Kumar , **Bull. Rus. Acad. Sci. Phys.84 (2020) 1001**// *Study of Mass-Asymmetric Fission of 180,190Hg Formed in the 36Ar +144,154Sm* Reactions DOI: 10.3103/S1062873820080213
7. 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. *Времяпролетный спектрометр CORSET для измерения бинарных продуктов реакций*. **Приборы и техника эксперимента, Т. 51, В.1 (2008) с. 44-58**.

Диссертация «Исследование деления, быстрого деления и квазиделения в реакциях с тяжелыми ионами, ведущими к образованию нейтронодефицитных 180,190Hg и 184Pb» Богачева Алексея Анатольевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

г. Дубна, 15 апреля 2022 г

В.К. Утенков

председатель НТС ЛЯР