УТВЕРЖДАЮ

Директор ЛЯР ОИЯИ

С.И. Сидорчук

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

"23" октября 2020 г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Научно-технического совета**

**Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ**

по диссертации **Сайко Вячеслава Владимировича** «Получение нейтроноизбыточных изотопов тяжелых и сверхтяжелых элементов в реакциях многонуклонных передач», 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 Сайко В.В. являлся сотрудником ОИЯИ и работал в должности инженера, младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа была представлена В.В. Сайко на Общелабораторном семинаре ЛЯР 20 октября 2020 г. В работе семинара приняли участие 33 сотрудника Лаборатории ядерных реакций и Лаборатории теоретической физики ОИЯИ. По результатам обсуждения было подготовлено **следующее заключение**:

**Актуальность работы.** Одним из актуальных направлений исследований современной ядерной физики является синтез и изучение свойств ядер, обогащенных нейтронами. Реакции глубоконеупругих передач, открытые в ЛЯР ОИЯИ, в настоящее время рассматриваются как перспективный метод получения нейтроноизбыточных тяжелых и сверхтяжелых ядер.

Особый интерес к нейтроноизбыточным изотопам тяжелых и сверхтяжелых элементов связан с проблемой описания астрофизического *r*-процесса, ответственного за образование химических элементов тяжелее железа.

Основными методами получения нейтроноизбыточных ядер являются реакции фрагментации, деления и многонуклонных передач. Первые два метода применяются для синтеза нуклидов в широком диапазоне масс, но не пригодны для получения ядер тяжелее урана. Для исследования области неизвестных нейтроноизбыточных изотопов тяжёлых элементов предлагается использовать реакции многонуклонных передач, происходящие в глубоконеупругих столкновениях тяжёлых ионов.

Для проведения экспериментов по получению нейтроноизбыточных ядер в реакциях многонуклонных передач необходимо создание надёжных теоретических моделей, способных не только описать основные характеристики данного типа реакций, но и достаточно корректно предсказать сечения образования конкретных продуктов. Одной из моделей, удовлетворяющих этим требованиям, является многомерный динамический подход на основе уравнений Ланжевена.

**Научная новизна работы.**

1. Динамическая модель ядро-ядерных столкновений усовершенствована на случай взаимодействия ядер, деформированных в основном состоянии. Предложен универсальный набор параметров динамической модели, позволяющих достаточно хорошо описать имеющиеся экспериментальные данные по энергетическим, угловым, зарядовым и массовым распределениям продуктов реакций глубоконеупругих передач для целого ряда систем, от 40Ca + 208Pb до 238U + 248Cm.
2. Впервые в едином подходе изучен широкий спектр вопросов, касающихся возможности получения новых тяжёлых и сверхтяжёлых ядер в реакциях многонуклонных передач, а именно:

* Влияние массы и нейтронного избытка снаряда в реакциях многонуклонных передач с тяжёлой нейтроноизбыточной мишенью на сечения образования мишенеподобных продуктов.
* Выбор конкретных реакций для синтеза тяжёлых и сверхтяжёлых ядер.
* Влияние процесса вынужденного деления на образование тяжёлых продуктов в реакциях многонуклонных передач. Зависимость выхода тяжёлых продуктов от энергии реакции.

**Личный вклад автора.** Автор принимал активное участие в обсуждении научных задач диссертации, проявил высокую степень самостоятельности при разработке вычислительных алгоритмов, проведении расчётов, анализе полученных результатов, написании статей и их подготовке к публикации. Автором была обобщена многомерная динамическая модель ядро-ядерных столкновений на случай моделирования столкновений с участием ядер, имеющих деформированную форму в основном состоянии, предложен способ распределения энергии возбуждения между продуктами реакции в зависимости от времени её протекания, а также получен набор параметров динамической модели. Результаты расчётов, представленные в диссертации, и основные положения, выносимые на защиту, получены лично автором.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов обеспечивается достаточно точным их согласием с уже имеющимися экспериментально-измеренными характеристиками реакций глубоконеупругих передач.

Отдельные результаты, полученные с помощью динамической модели, основанной на уравнениях Ланжевена, находятся в соответствии с выводами, полученными в рамках других теоретических подходов к описанию столкновений тяжёлых ионов таких, как GRAZING, модель двойной ядерной системы и нестационарный метод Хартри-Фока.

**Практическая значимость работы.**

Разработанная многомерная динамическая модель низкоэнергетических ядро-ядерных столкновений с универсальным набором параметров может быть использована для надёжного расчёта различных дифференциальных сечений процессов многонуклонных передач, протекающих в глубоконеупругих столкновениях для произвольной комбинации ядер. Это может быть крайне важно при постановке соответствующих экспериментов.

Часть результатов настоящей работы по изучению реакций многонуклонных передач для систем 238U+238U, 248Cm и др. явились теоретическим обоснованием готовящейся в настоящий момент серии экспериментов в ЛЯР ОИЯИ. Кроме того, расчёты, выполненные в рамках разработанной модели, были учтены для проектирования экспериментальных установок, при постановке экспериментов по реакциям многонуклонных передач, а также при анализе их результатов, в других ведущих ядерно-физических лабораториях: GSI (Германия), GANIL (Франция) и Университет Ювяскюля (Финляндия).

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** Материалы диссертации доложены автором на 6 международных конференциях и совещаниях. По материалам диссертации опубликовано 11 работ, из них в журналах, включенных в перечень ВАК и в системы цитирования Scopus и/или Web of Science – 9. Часть материалов диссертации вошла в цикл работ «Изучение реакций многонуклонных передач как метода получения новых тяжёлых и сверхтяжёлых ядер» (авторы: А.В. Карпов, В.В. Сайко), удостоенной второй премии ОИЯИ за 2019 год.

Основные результаты работы представлены в следующих публикациях:

1. A. V. Karpov, V. V. Saiko; Modeling near-barrier collisions of heavy ions based on a Langevin-type approach // Phys. Rev. C, **96** (2017) 024618.
2. V.V. Saiko, A.V. Karpov; Analysis of Multi-nucleon Transfers in Collisions of Actinides // Acta Physica Polonica B, **50** (2019) 495–500.
3. V. V. Saiko, A. V. Karpov; Analysis of multinucleon transfer reactions with  
   spherical and statically deformed nuclei using a Langevin-type approach //  
   Phys. Rev. C, **99** (2019) 014613.
4. V. V. Saiko, A. V. Karpov; Synthesis of Transuranium Nuclei in Multinucleon  
   Transfer Reactions at Near-Barrier Energies // Письма в ЭЧАЯ, **16** (2019) 478.
5. В. В. Сайко, А. В. Карпов; Роль уравновешивания заряда в реакциях многонуклонных передач // Известия РАН. Сер. Физическая, **84**, № 4 (2020) 559 – 564.

Диссертация «Получение тяжелых нейтроноизбыточных ядер  
в реакциях многонуклонных передач» Сайко Вячеслава Владимировича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

г. Дубна, 23 октября 2020 г

В.К. Утенков

председатель НТС ЛЯР