

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский
государственный университет»



С.В. Микушев

«31»

ЯНВАРЯ

2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Санкт-Петербургского государственного университета на диссертацию Чернышевой Елены Владимировны «Экспериментальное исследование процессов слияния-деления и квазиделения в реакциях ионов ^{48}Ca с мишенями ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{238}U , ^{244}Pu и ^{248}Cm при энергиях вблизи кулоновского барьера», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц в диссертационный совет Д 720.001.06 при Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ).

Сегодняшние реалии в физике ядерных реакций соответствуют тому, что наблюдается повышенный интерес к изучению процессов с образованием сверхтяжелых ядер, и подробному исследованию их свойств. Эксперименты по синтезу сверхтяжелых элементов позволяют ответить на фундаментальные вопросы о границах Периодической системы элементов. В этой связи, хочется отметить, что в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова в ОИЯИ в реакциях взаимодействия ионов ^{48}Ca с мишенями тяжелых элементов, впервые были синтезированы новые сверхтяжелые ядра с атомными номерами $Z = 114 - 118$, а также новые изотопы сверхтяжелых ядер. Сегодня в нашей стране это одни из немногих экспериментов в области фундаментальной ядерной физики,

которые дают ошеломляющие результаты и поддерживают престиж отечественной науки на мировом уровне.

Поэтому, ключевой составляющей представленной работы являлись экспериментальные исследования в реакциях с тяжелыми ионами, процессов так называемого квазиделения, которые конкурируют с процессами полного слияния, приводящими к образованию сверхтяжелых ядер. Дело в том, что конкуренция этих процессов зависит от начальных параметров входных каналов реакции и поэтому для выбора оптимальных условий проведения экспериментов по синтезу сверхтяжелых элементов необходима информация о сечениях захвата, слияния-деления и квазиделения в исследуемых реакциях. В контексте поставленной задачи, в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ на ускорителе У-400 были проведены исследования процессов слияния-деления и квазиделения в реакциях взаимодействия ионов ^{48}Ca с мишенями тяжелых элементов: ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{238}U , ^{244}Pu , ^{248}Cm при энергиях выше и ниже кулоновского барьера. Регистрация продуктов ядерных реакций осуществлялась двухплечевым времяпролетным спектрометром CORSET (CORrelation SETup), что в итоге позволило получить их массовые, энергетические и угловые распределения. Именно анализ таких распределений позволяет пролить свет на механизмы процессов слияния-деления и квазиделения.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Во введении сформулированы актуальность и цели работы, ее практическая значимость, а также представлены положения, выносимые на защиту. Первая глава диссертации посвящена подробному описанию процессов, протекающих в реакциях с тяжелыми ионами и проведен анализ конкурентных особенностей между каналами слияния-деления и квазиделения в массовой области исследуемых ядер. Вторая глава диссертации посвящена экспериментальным методикам регистрации фрагментов, возникающих в реакциях с тяжелыми ионами. В данной главе дается детальное описание двухплечевого времяпролетного спектрометра CORSET, описаны конструкционные особенности и калибровочные процедуры его основных детекторных модулей,

проведены расчеты его физических характеристик (массовое и энергетическое разрешение спектрометра). В дальнейшем, с помощью данного спектрометра были измерены массово-энергетические распределения фрагментов и функции возбуждения процессов слияния-деления и квазиделения для реакций $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb}$, ^{232}Th , ^{238}U , ^{244}Pu , ^{248}Cm . В третьей главе диссертации описан разработанный алгоритм обработки экспериментальных данных, в результате реализации которого удалось: отделить реальные события от случайных совпадений, получить массово-энергетические распределения фрагментов исследуемых реакций, выделить определенные каналы в этих реакциях, провести нормировку полученных распределений на геометрическую эффективность регистрации спектрометра и получить сечения захвата для реакций ионов ^{48}Ca на исследуемых мишенях. Четвертая глава диссертации посвящена описанию полученных результатов измерений массово-энергетических распределений фрагментов и сечений захвата реакции $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb}$ при энергиях $E_{\text{lab}} = 206\text{--}242$ МэВ. Проведены всесторонние исследования свойства симметричного деления ядер ^{256}No и свойства фрагментов асимметричного квазиделения и при энергиях возбуждения $E^* = 17\text{--}35$ МэВ впервые обнаружено проявление бимодального деления (существование двух независимых способов деления) этого ядра. Пятая глава диссертации посвящена описанию результатов анализа, полученных в реакциях взаимодействия ионов ^{48}Ca с мишенями ^{232}Th , ^{238}U , ^{244}Pu , ^{248}Cm , массово-энергетических распределений продуктов реакций. Это позволило идентифицировать механизмы протекания таких реакций, а также определить нижние пределы барьеров деления ядер $^{254\text{--}256}\text{No}$, $^{283\text{--}286}\text{Cn}$, $^{289\text{--}292}\text{Fl}$ и $^{293\text{--}296}\text{Lv}$. В заключении диссертации подведены основные итоги работы и сформулированы полученные научные результаты.

Научная новизна данных, представленных в диссертации, не вызывает сомнений. Явным плюсом представленной работы является то, что автору удалось разработать алгоритмы обработки данных для времяпролетного метода регистрации продуктов исследуемых реакций, с использованием детекторов на

основе микроканальных пластин. Благодаря этому были получены следующие важные результаты:

1. Измерены массово-энергетические распределения фрагментов и сечения массово-энергетических распределений фрагментов и сечений захвата в реакциях $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb}$, ^{232}Th , ^{238}U , ^{244}Pu и ^{248}Cm при энергиях вблизи кулоновского барьера. В результате анализа энергетических распределений фрагментов реакций $^{48}\text{Ca} + ^{238}\text{U}$, ^{244}Pu и ^{248}Cm , были определены каналы слияния-деления, симметричного и асимметричного квазиделения, а также проведена оценка вкладов этих каналов в сечение захвата и получены верхние оценки сечений слияния-деления.

2. Установлено, что для квазиделительного процесса в реакциях взаимодействия ^{48}Ca на используемых в работе мишенях, характерны широкие двугорбые массовые распределения с пиком тяжелого квазиделительного фрагмента в области дважды магического свинца, обусловленные влиянием замкнутых оболочек $Z=82$ и $N=126$ в тяжелом фрагменте и $Z=28$, $N=50$ в легком фрагменте. Обнаружено, что полная кинетическая энергия для квазиделения в области асимметричных масс легких фрагментов ($\approx 60\text{-}80$ а.е.м.) и тяжелых фрагментов ($\approx 200\text{-}220$ а.е.м.), выше на 10-15 МэВ, чем полная кинетическая энергия для слияния-деления. Было установлено, что несмотря на доминирующую роль в таких реакциях асимметричного квазиделения, в области симметричных масс присутствуют фрагменты слияния-деления и симметричного квазиделения.

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

Достоверность основных результатов и выводов приведенных в диссертации не вызывает сомнений и подтверждается апробацией работы на многочисленных отечественных и международных конференциях. Также следует отметить, что большинство результатов работы опубликовано в высокорейтинговых международных изданиях.

Диссертация представляет научный и практический интерес для ядерной физики, так как разработанные методы обработки и анализа данных могут

применяться в аналогичных экспериментах с использованием времяпролетной методики. Это позволит проводить прецизионные измерения массово-энергетических распределений продуктов реакций и выделять с большей точностью соответствующие каналы реакций. Полученные экспериментальные данные, могут быть использованы для проверки различных теоретических моделей, описывающих динамику слияния тяжелых ядер. Информация о конкуренции каналов слияния-деления и квазиделения в массовой области принадлежащей сверхтяжелым ядрам, может быть использована для постановки новых экспериментов по синтезу таких ядер, где вместо ^{48}Ca предполагается ускорять ионы ^{50}Ti или ^{54}Cr .

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать к использованию в работе в научно-исследовательских учреждениях, занимающихся фундаментальными ядерно-физическими исследованиями: Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", МГУ, СПбГУ, Радиевый институт им. В.Г. Хлопина и др. Также часть материалов диссертации можно с успехом использовать в образовательном процессе для студентов ядерно-физических специальностей, так как данные материалы изложены простым и доступным языком с хорошей методической проработкой отдельных тем.

Диссертация лишена серьезных недостатков, однако отмечены следующие недоработки:

1. При описании конструкции двухплечевого времяпролетного спектрометра CORSET говорится, что его плечи устанавливаются под оптимальными корреляционными углами, и далее уже в описании экспериментов приводятся значения этих углов. Однако критерии, по которым выбираются данные углы, носят сугубо описательный характер, и нигде не сказано проводилось ли соответствующее моделирование, с целью определения оптимальных значений выбранных углов.

2. В экспериментальных исследованиях, представленных в диссертации, основными детектирующими системами являются сборки из микроканальных пластин. Однако не приводятся основные параметры и характеристики

используемых детекторов. Практически ничего не говорится о величине мертвого времени таких микроканальных пластин и в особенности в условиях больших загрузок, хотя и приводится процедура учета этого фактора при определении числа реальных событий.

3. В работе учитывается влияние на полученные массово-энергетические распределения эффектов эмиссии нейтронов из фрагментов, но не учитывается влияние эмиссии нейтронов из возбужденной составной системы.

4. При изучении низкоэнергетического деления ядер ^{256}No и анализе распределений полной кинетической энергии для ионов ^{48}Ca с энергией в диапазоне $E_{\text{lab}}=211\text{-}242$ МэВ, для распределений симметричного массового диапазона ($M=124\text{-}132$ а.е.м.), где наблюдается двугорбое массовое распределение, делается вывод, что при двух наиболее низких энергиях $E_{\text{lab}}=218$ и 211 МэВ появляются две компоненты в распределениях полной кинетической энергии: низкоэнергетическая в районе энергии 200 МэВ, и высокоэнергетическая в районе энергии 233 МэВ. Это достаточно спорный вывод, так как аппроксимация функцией гаусса правой высокоэнергетической части происходит на очень маленькой статистике, и с таким же успехом можно вписать гауссиан и в левые части (энергия в районе $160\text{-}170$ МэВ) этих распределений, особенно при энергиях $E_{\text{lab}}=220, 225$ и 242 МэВ, а затем делать выводы о разных модах распада.

Эти замечания демонстрируют сложность поставленных и решенных в диссертационной работе задач и ни в коей мере не умаляют общей высокой оценки работы Е.В. Чернышевой.

В автореферате сформулированы актуальность и основная цель работы, подробно описаны полученные результаты их новизна и практическая значимость. В качестве комментария к автореферату следует отметить, что описание экспериментальной установки можно было изложить в несколько расширенном варианте.

Содержание диссертации и автореферата позволяет сделать вывод о том, что диссертационная работа Е.В. Чернышевой является самостоятельным, завершенным исследованием и выполнена на высоком научно-техническом

уровне. Диссертация полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 «Физика атомного ядра и элементарных частиц», а ее автор Чернышева Елена Владимировна заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Доклад Е.В. Чернышевой по диссертационной работе заслушан и обсужден на семинаре кафедры ядерно-физических методов исследования СПбГУ. Отзыв на диссертацию рассмотрен и обсужден на заседании Кафедры ядерно-физических методов исследования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» 29 января 2019 г., протокол №1 и одобрен в качестве отзыва ведущей организации.

Отзыв подготовил:

кандидат физико-математических наук
(специальность 01.04.16),
доцент кафедры ядерно-физических
методов исследования Санкт-Петербургского
государственного университета

Жеребчевский В.И.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»
199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная 7–9.
тел. 89117699364,
e-mail: v.zherebchevsky@spbu.ru

Подпись В.И. Жеребчевского удостоверяю:

«14» 02 2019 г.



Машинно Ч. Ч.
поглавная кафедра №3