

## О Т З Ы В

официального оппонента доктора физико-математических наук Еременко Дмитрия Олеговича о диссертационной работе 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 ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Фундаментальные ядерно-физические исследования последних лет характеризуются значительно возросшим интересом к изучению процесса столкновения двух тяжелых ядер при энергиях вблизи кулоновского барьера. Прежде всего, это обусловлено недавними успехами в решении одной из важнейших задач современной физики – синтезе новых сверхтяжелых элементов. Так, в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна) синтезированы сверхтяжелые элементы с  $Z = 112 - 118$  в реакциях слияния дважды-магического ядра  $^{48}\text{Ca}$  с ядрами актинидных элементов. Эти исследования подтвердили предсказания, касающиеся существования острова стабильности вблизи нейтронной оболочки  $N = 184$  и протонной оболочки при  $Z = 114$  (по некоторым предсказаниям при  $Z = 120, 122$ ). По-видимому, теперь в качестве первоочередных задач можно выделить синтез сверхтяжелых ядер с  $Z > 118$ , детальное изучение свойств уже открытых сверхтяжелых ядер и особенностей электронной структуры соответствующих сверхтяжелых атомов. Прогресс в решении этих задач связан не только с дальнейшим развитием экспериментальной техники, но и с уточнением наших представлений о механизмах различных процессов, происходящих при столкновении двух тяжелых ядер. Действительно, к наиболее важным каналам распада сверхтяжелых ядерных систем, образующихся в реакциях с

тяжелыми ионами, следует отнести деление и квазиделение. Они играют определяющую роль в формировании многих экспериментально наблюдаемых характеристик ядро-ядерных столкновений. Причем, конкуренция процессов деления и квазиделения определяется целым комплексом факторов. Здесь прежде всего следует выделить условия, реализующиеся во входном канале реакции, такие, как массовая асимметрия, деформации сталкивающихся ядер, энергия столкновений и др. Существенное влияние на конкуренцию процессов образования составного ядра и квазиделения оказывает структура поверхности потенциальной энергии, образующейся сверхтяжелой ядерной системы, которая сильно зависит от оболочечных эффектов и энергии возбуждения. Получение новой более детальной и точной информации о всех этих аспектах ядро-ядерных столкновений чрезвычайно актуально для выбора оптимальной реакции для синтеза сверхтяжелых элементов, и, следовательно, является важной задачей уже на стадии планирования будущих экспериментов. Все сказанное характеризует исследования, проведенные Е.В.Чернышевой в рамках ее диссертационной работы, как чрезвычайно **актуальные** для современной ядерной физики.

В рамках своей диссертационной работы Е.В.Чернышева провела цикл экспериментальных исследований процессов слияния-деления и квазиделения для столкновений ионов  $^{48}\text{Ca}$  с ядрами мишеньями  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{244}\text{Pu}$  и  $^{248}\text{Cm}$  при энергиях вблизи кулоновского барьера. В диссертации с помощью двухплечевого времяпролетного спектрометра CORSET получены **новые экспериментальные данные** о массовых и энергетических распределениях бинарных продуктов ядерных реакций для всех указанных систем. Исчерпывающий анализ полученных экспериментальных данных позволил Е.В.Чернышевой уверенно разделить вклады каналов полного слияния-деления, симметричного и асимметричного квазиделений в полном выходе делительноподобных продуктов реакций. Здесь необходимо отметить, что разделение продуктов реакций полного слияния-деления и

квазиделения является сложной экспериментальной проблемой. Для ее решения соискателю потребовалось развить ряд перспективных методов обработки и анализа экспериментальных данных, которые позволили существенно повысить точность измерений массово-энергетических распределений продуктов реакций. Хотелось бы также выделить предложенные Е. В. Чернышевой алгоритмы оценки разрешения спектрометра, учитывающие временное и пространственное разрешения детекторов, угловой и энергетический разброс частиц в стартовых детекторах и в мишени, а также эмиссию нейтронов тяжелыми возбужденными продуктами реакций. **Несомненно, весь комплекс методов обработки и анализа экспериментальных данных, развитый в диссертации, обладает практической ценностью** для дальнейшего развития экспериментальных исследований реакций с тяжелыми ионами с использованием времяпролетных методик.

Характеристики массово-энергетических распределений продуктов реакций, измеренные Е. В. Чернышевой, послужили хорошей основой для получения новой информации о сечениях слияния-деления, вероятности образования составного ядра и вероятности выживания холодных остатков испарения, которую следует рассматривать как основной результат диссертации. **О достоверности полученных данных свидетельствует** хорошее согласие оценок, сделанных автором диссертации, с результатами других экспериментальных работ и известными теоретическими предсказаниями. Это прежде всего касается барьеров деления ядер  $^{254-256}\text{No}$ ,  $^{283-286}\text{Cn}$ ,  $^{289-292}\text{Fl}$  и  $^{293-296}\text{Lv}$ . В качестве наиболее интересных и многообещающих хотелось бы отметить выводы диссертации о влиянии оболочечной структуры поверхности потенциальной энергии образующихся в рассматриваемых реакциях сверхтяжелых систем. Определенный интерес для развития физики деления представляет собой впервые обнаруженные для ядра  $^{256}\text{No}$  моды бимодального деления при энергиях возбуждения меньше 35 МэВ.

Таким образом, диссертационная работа Чернышевой Елены Владимировны «Экспериментальное исследование процессов слияния-деления и квазиделения в реакциях  $^{48}\text{Ca}$  с мишениями  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{244}\text{Pu}$  и  $^{248}\text{Cm}$  при энергиях вблизи кулоновского барьера» является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, которая представляет собой исследование актуальной проблемы, характеризуется научной новизной и практической значимостью.

Тем не менее, следует отметить некоторые незначительные недостатки диссертационной работы, к которым можно отнести не всегда аккуратно написанный текст диссертации. Так, например, для одного и того же диапазона масс бинарных продуктов реакций используются различные обозначения:  $A_{\text{CN}}/2 \pm 20$  и  $A_{\text{CS}}/2 \pm 20$ . В тексте диссертации встречаются опечатки. Автору диссертации следовало бы избегать жаргонных выражений (например, “высокостатистическая серия”). Наборы энергий пучка ионов  $^{48}\text{Ca}$ , приведенные на стр. 66 и в табл. 4.1, не вполне совпадают. Следовало также привести более детальное разъяснение оценок вероятностей образования холодных остатков испарения, которые кратко изложены на стр. 88. Например, желательно пояснить фактор “1.5”, введенный в знаменатель хорошо известного соотношения для расчета ядерной температуры.

Несмотря на отдельные незначительные недостатки, настоящая диссертация заслуживает самой высокой оценки. Исследования, проведенные Еленой Владимировной Чернышевой, результаты которых представлены в диссертационной работе, имеют высокий научный уровень. Надежность и достоверность результатов диссертации подкреплена использованием современного и хорошо зарекомендовавшего себя измерительного комплекса, согласием с данными других авторов и с предсказаниями современных теоретических моделей. Тщательный и всесторонний анализ полученных экспериментальных данных, проведенный в работе, не оставляет сомнений в обоснованности сделанных выводов о механизме изученных реакций. Материалы диссертационной работы полностью опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ. Они были

представлены на ряде авторитетных российских и международных конференций. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Диссертация полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным "Положением о порядке присуждения ученых степеней", утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842 (ред. от 28.08.2017). Сама же Чернышева Елена Владимировна заслуживает присвоения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры  
физики атомного ядра и квантовой теории  
столкновений физического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова

/Д.О.Еременко/  
15 апреля 2019 г.

Еременко Дмитрий Олегович,  
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В.Ломоносова,  
дом 1, строение 2, Физический факультет.  
Тел.: +7 (495) 939-24-65, +7 (917) 590 6933.

Адрес электронной почты: eremenko@sinp.msu.ru

Место работы: Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова,

Должность: профессор кафедры физики атомного ядра и квантовой теории столкновений.

Подпись доктора физ.-мат. наук, профессора кафедры физики атомного ядра и квантовой теории столкновений Еременко Дмитрия Олеговича заверяю.

Декан Физического факультета

МГУ имени М.В.Ломоносова

доктор физ.-мат. наук, профессор



/Н.Н.Сысоев/