

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Карпешина Ф. Ф., о диссертации **Науменко Михаила Алексеевича** на тему «Исследование особенностей ядерных реакций с участием легких ядер в нестационарном подходе» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц, представленной в диссертационный совет Д 720.001.01 при Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова (ЛТФ) Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна.

Исследование ядерных реакций с участием легких ядер при низких энергиях является одной из актуальных задач современной физики. Значительный интерес представляют реакции передачи (срыва и подхвата) нейтронов, протонов и кластеров. В диссертации выполнены расчеты передачи и перераспределения нейтронов при столкновениях с участием легких ядер в рамках микроскопического метода, основанного на решении нестационарного уравнения Шредингера для волновых функций нейтронов в поле остовов ядер, движущихся по классическим траекториям. Данный подход обеспечивает квантовое описание нескольких независимых частиц, наглядную визуализацию динамики происходящих процессов и быстроту вычислений на мелкой сетке. К его отличительным достоинствам можно отнести те обстоятельства, что он не требует выделения определенных конечных состояний дискретного спектра для описания процессов передачи, в его рамках элиминируется необходимость в процедуре дискретизации непрерывного спектра для описания процессов развала и в постановке специальных граничных условий во входном и выходных каналах. Более того, используемый в диссертации нестационарный подход позволяет моделировать и проследивать весь ход ядро-ядерного столкновения, выявляя существенные механизмы реакции, а также давать им ясную интерпретацию в рамках классической физики. Ранее этот метод успешно применялся для описания деления и альфа-распада в зарубежной литературе. В то же время, несмотря на указанные преимущества, данный метод пока мало применялся для описания передачи нейтронов в ядерных реакциях. Исследование возможности более широкого применения этого метода для описания реакций с рядом легких ядер и интерпретации экспериментальных данных определяет теоретическую актуальность темы исследования. С экспериментальной точки зрения ценность таких работ также заключается в возможности получения заданного ядра, что необходимо для экспериментов, проводимых в Лаборатории ядерных реакций (ЛЯР)

Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Во вводной части приводится подробный обзор по теме диссертации, включающий детальное сравнительное описание различных теоретических подходов и методов, с указанием их достоинств и недостатков. Анализируются экспериментальные результаты, описанию которых посвящена диссертация, рассматривается актуальность работы и приводятся основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена применению метода континуальных интегралов Фейнмана для расчета энергий и стационарных волновых функций основных состояний легких ядер. Полученные свойства волновых функций ядер ${}^3,6\text{He}$ были использованы для постановки начальных условий при изучении реакций передачи нейтронов в нестационарном подходе во второй главе. Были выполнены расчеты также для легких ядер ${}^3\text{H}$, ${}^4\text{He}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, реакции с которыми изучались и продолжают изучаться во многих научных ядерных центрах. Расчеты проведены в трех- и четырехтельной постановке с использованием парных нуклон-нуклонных, нуклон- α -кластерных и α -кластер- α -кластерных потенциалов с отталкивательным кором. Несомненным достоинством является тот факт, что хорошее согласие с экспериментальными данными было получено с использованием одного и того же единого набора потенциалов для всех исследованных ядер.

Задача приближенного вычисления континуальных интегралов приводит к необходимости расчета интегралов особо большой кратности (порядка 1000), что при использовании традиционных численных методов и последовательном программировании связано с колоссальным объемом компьютерных вычислений. С целью практического осуществления подобных расчетов развит метод параллельных вычислений на графических процессорах NVIDIA с использованием технологии CUDA. Применение данной технологии позволило ускорить вычисления в сотни раз.

Во второй главе диссертации проводится анализ результатов эволюции полученных в первой главе волновых функций для выяснения механизма передачи нуклона из одного ядра в другое при энергиях вблизи кулоновского барьера. Рассмотрены реакции срыва и подхвата с участием ядер ${}^3\text{He}$ и ${}^6\text{He}$ с ядрами мишеней ${}^{45}\text{Sc}$, ${}^{64}\text{Zn}$ и ${}^{197}\text{Au}$, ведущие к образованию различных изотопов. Рассмотрение проводится на основе численного решения нестационарного уравнения Шредингера. Во всем значимом пространстве вокруг ядра для обеспечения достаточной точности была использована мелкая сетка с шагом 0.2 фм. Вероятность перехода внешнего

нейтрона экспоненциально спадает с удалением ядер друг от друга, что обусловлено затуханием волновой функции в классически недоступной области, разделяющей ядра. Это вызывает необходимость оценки влияния возможного канала слияния сталкивающихся ядер с последующим испарением нуклонов и α -частиц. Проведенные оценки показали, что для рассмотренных энергий в случае тяжелых ядер-мишеней (например, ядер золота) при энергиях вблизи кулоновского барьера такой канал дает малый вклад по сравнению с механизмом передачи нейтронов. Эффективно учтено изменение потенциала взаимодействия сталкивающихся ядер, которое возникает после передачи нейтрона, и рассчитана соответствующая поправка к оптическому потенциалу. Полученные результаты по сечениям образования различных изотопов в реакциях с участием ядер ^3He и ^6He на мишенях ^{45}Sc , ^{64}Zn и ^{197}Au находятся в согласии с экспериментальными данными.

В третьей главе проводится теоретическое исследование влияния процессов перераспределения слабосвязанных внешних нейтронов на полные сечения реакций, которые возникают при столкновении ядер ^6He и ^9Li с ядрами мишени ^{28}Si в диапазоне энергий столкновения 5 – 60 А МэВ. С использованием численного решения нестационарного уравнения Шредингера был проведен анализ особенностей полных сечений. Вычисления показывают картину концентрации внешних слабосвязанных нейтронов в области между ядрами в момент наибольшего сближения. Данное явление возникает при энергиях, соответствующих переходу от адиабатического характера столкновений к неадиабатическому. Концентрация нейтронов между ядрами приводит, как известно, к возрастанию притяжения между ними, чем и объясняется рост наблюдаемого в эксперименте полного сечения в этой области. Была рассчитана и соответствующая поправка к оптическому потенциалу, зависящая от энергии. Это позволило получить хорошее согласие расчетов с экспериментальными данными по полному сечению изученных реакций.

В заключении диссертации отражены основные результаты работы. Они соответствуют положениям, выносимым на защиту. Несомненным достоинством диссертации является глубокое знакомство и учет особенностей конкретных установок, на которых получены экспериментальные данные. Актуальность, значимость и научная новизна полученных результатов не вызывает сомнений.

Вместе с тем, по содержанию диссертации имеются следующие замечания.

1) Решение уравнения (2.8) предполагает наличие начального условия, которое не выписано. Это вызывает вопросы. Возможны две постановки. а) В начальный момент два покоящихся ядра находятся на определенном расстоянии друг от друга. В

определенный момент внезапно включается начальная скорость, соответствующая заданной энергии столкновения, и запускается программа численного расчета дальнейшей эволюции нейтронной волновой функции. б) Та же конфигурация, но ядра движутся изначально. Два различных начальных условия естественно приводят к разным результатам. Во втором случае необходим учет переноса импульса, который производится путем умножения волновой функции сталкивающихся ядер на трансляционную экспоненту. В первом случае такого множителя нет, но зато возникает вероятность «встряски» в момент внезапного начала движения.

2) Не освещен типичный в теории столкновений принципиальный вопрос. При столкновении квазиклассических центров, в поле которых рассматривается перераспределение легкой квантовой частицы, важную роль играют области квазипересечения квазимолекулярных уровней легкой частицы, вероятности перехода в которых можно найти по формулам Ландау-Зинера, Демкова и т.п. Этот вопрос крайне редко обсуждается в связи с ядерными столкновениями. Между тем, его рассмотрение могло бы быть очень уместным, например, на стр. 57 в связи с обсуждением динамики столкновений при наличии близких уровней в двух сталкивающихся системах.

3) Укажу также опечатку в формуле (1.8), где пропущен знак логарифма в правой части равенства.

Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают ценность диссертационной работы. Они могут быть использованы при дальнейшем развитии темы.

Выполненная работа является законченным научным исследованием, а полученные результаты найдут достойное применение в дальнейших исследованиях по ядерной физике, как теоретических, так и экспериментальных. Методы, предложенные в данной диссертации, и полученные в ней результаты являются новыми, оригинальными. Вклад автора является значительным. Результаты, полученные в диссертации, докладывались на международных и российских научных конференциях, а также на семинарах в Объединенном институте ядерных исследований. Они в полной мере опубликованы в ведущих российских рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК. Таким образом, диссертационная работа прошла широкую апробацию.

Диссертация соответствует паспорту специальности 01.04.16. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Материалы диссертации могут быть использованы для дальнейших исследований в Объединенном институте ядерных

исследований, а также в других институтах и научных центрах в области атомной и ядерной физики.

Из всего сказанного выше следует вывод, что диссертационная работа Науменко Михаила Алексеевича на тему «Исследование особенностей ядерных реакций с участием легких ядер в нестационарном подходе» полностью соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» вместе с «Положением о присуждении ученых степеней», и утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в ред. от 28.08.2017, а ее автор безусловно заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент:



Карпешин Федор Федорович

19.04.2018

ведущий научный сотрудник

Федерального государственного унитарного
предприятия «Всероссийский научно-исследовательский
институт метрологии им. Д. И. Менделеева»,

доктор физико-математических наук

адрес: 190005 Санкт-Петербург, Московский пр., 19

тел.: +7 (953) 359-2311

e-mail: f.f.karpeshin@vniim.ru, fkarpeshin@gmail.com

Даю согласие на обработку моих персональных данных любым законодательно разрешенным способом.

