

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук
Ворончева Виктора Тихоновича
о диссертации Соловьева Александра Сергеевича
“Микроскопическое описание процесса радиационного захвата
в ядерных кластерных системах”,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.16 – “Физика атомного ядра и элементарных частиц”

Диссертационная работа Соловьева Александра Сергеевича посвящена теоретическому исследованию зеркальных ядерных реакций радиационного захвата ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ и ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$, включающему расчеты их астрофизических S-факторов (сечений) и коэффициентов ветвления при низких и средних энергиях, в рамках микроскопического подхода на основе алгебраической версии метода резонирующих групп (АВМРГ).

Реакции радиационного захвата при низких энергиях представляют несомненный интерес для астрофизики, играя важную роль в ядерном превращении вещества в астрофизических объектах. Особое место здесь занимают процессы ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ и ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$, которые входят в группу основных реакций, контролирующих синтез легких элементов в ранней Вселенной, и имеют отношение к космологической загадке наблюдаемого дефицита первичного ${}^7\text{Li}$. Кроме этого, реакция ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ участвует в рр-цепочке ядерных процессов, протекающих в центре Солнца, и играет непосредственную роль в формировании потоков солнечных нейтрино. Дополнительно следует отметить, что указанные реакции рассматриваются в качестве возможных процессов для гамма-лучевой диагностики ионов топлива и продуктов реакций синтеза в DT- и D³He-плазме в проблеме управляемого термоядерного синтеза.

В то же время, в наиболее важной области глубоко подбарьерных энергий сечения реакций ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ и ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$ по-прежнему недоступны для надежных экспериментальных измерений из-за сильного кулоновского подавления этих процессов. Более того, даже в доступном для измерений диапазоне низких энергий имеющиеся экспериментальные данные показывают явный разброс. Поэтому наиболее обоснованным способом определения сечений и астрофизических S-факторов этих реакций являются теоретические расчеты на основе микроскопических подходов. Однако большинство выполненных микроскопических расчетов не дают разумного описания современных данных по S-факторам этих реакций и заметно расходятся между собой. Вышесказанное подтверждает несомненную актуальность, научную и практическую значимость темы диссертационной работы.

Диссертация Соловьева А.С. состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 130 страниц, включая список литературы из 161 наименования.

Во введении описывается современное состояние дел в области диссертационного исследования, дается обзор мировой научной литературы по теме исследования, обосновывается актуальность темы, научная новизна и значимость диссертационной работы, формулируется цель диссертации, приводятся краткое описание ее содержания и сведения об апробации ее результатов.

В первой главе подробно изложен математический формализм АВМРГ, на основе которого в диссертации строится микроскопический подход к описанию реакций радиационного захвата, и детально рассмотрены сопутствующие ему методики вычислений для двухкластерных систем. Данная модель ранее успешно применялась для расчета ряда характеристик ядерных реакций, причем хорошее согласие полученных результатов с экспериментом в совокупности с надежными математическими методами, лежащими в основе АВМРГ, говорят в пользу

достоверности этой модели. Однако возможности АВМРГ в описании радиационного захвата до появления полученных в настоящей диссертации результатов оставались нераскрытыми, что лишний раз подчеркивает значимость диссертационной работы А.С. Соловьева. Замечу, что использование преимущественно аналитических методов и отсутствие громоздких численных расчетов создают перспективы применения разработанного в диссертации подхода на базе АВМРГ в области сверхнизких энергий, а также для развития удобных приближенных методов исследования более сложных ядерных систем.

Во второй главе дано общее рассмотрение процесса радиационного захвата в двухкластерных системах. Представлено сечение радиационного захвата, выражаемое в длинноволновом приближении через приведенные матричные элементы электромагнитных мультипольных операторов, и показана его связь с астрофизическим S-фактором. Важно, что необходимые в расчетах электрические дипольный, квадрупольный и магнитный дипольный операторы выражены в виде суммы двухчастичных операторов, что позволило в следующих главах диссертации получить аналитические выражения для матричных элементов этих операторов на базисных волновых функциях АВМРГ применительно к семинуклонной системе в кластерных представлениях ${}^4\text{He} + {}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He} + {}^3\text{H}$. Следует подчеркнуть важность реализованной в диссертации методики вычисления матричных элементов электромагнитных мультипольных операторов, поскольку она позволяет получать явные аналитические выражения и может быть перенесена на другие кластерные системы.

Третья и четвертая главы диссертации представляются мне особенно важными. Здесь результаты первых двух глав используются непосредственно для расчетов реакций радиационного захвата ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ и ${}^3\text{H}(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}$. Рассмотрены общие свойства этих реакций при низких и средних энергиях, получено выражение для парциальных сечений, связывающее их с матричными элементами электрического дипольного оператора на базисе

волновых функций АВМРГ. Рассчитаны астрофизические S-факторы каналов реакций ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ и ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$ с образованием дочерних ядер ${}^7\text{Be}$ и ${}^7\text{Li}$ в основном и первом возбужденном состояниях, найдены суммарные S-факторы этих каналов и их коэффициенты ветвления. Полученные результаты хорошо описывают современные экспериментальные данные, и определяют значения S-факторов в недоступной для эксперимента глубокоподбарьерной области энергий. Сравнение с другими теоретическими исследованиями показывает преимущества представленных в диссертации расчетов в описании наиболее современных и точных экспериментальных данных. Кроме того, рассчитанные энергии связи входящих в реакции ядер находятся в разумном согласии с экспериментальными значениями, а найденные фазы упругого рассеяния в системах ${}^4\text{He} + {}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He} + {}^3\text{H}$ достаточно хорошо описывают соответствующие фазы, извлеченные из экспериментов. Исследована чувствительность результатов расчета к вариации значений параметров модели, рассмотрены критерии их выбора и приведены оптимальные значения этих параметров. Несомненным достоинством разработанного в диссертации микроскопического подхода является возможность одновременного описания данных по фазам упругого рассеяния, астрофизическим S-факторам и коэффициентам ветвления реакций радиационного захвата в зеркальных кластерных системах ${}^4\text{He} + {}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He} + {}^3\text{H}$.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации, продемонстрированы научная и практическая значимость работы.

Заканчивая на этом перечисление основных положений диссертации, отмечу, что работа написана четким языком, хорошо оформлена и фактически не содержит опечаток. В качестве замечания хотелось бы отметить следующее. Автор обнаружил весьма заметную чувствительность рассчитанных астрофизических S-факторов к вариации значений параметров выбранной модели (в первую очередь, интенсивности

центральной обменной компоненты NN-потенциала Хазегавы–Нагаты). Причем эта чувствительность оказалась различной при низких и средних энергиях. В связи с этим, было бы крайне интересно и полезно оценить, в какой степени обсуждаемые вариации могут влиять на усредненные по энергии характеристики реакций, а именно, максвелловские параметры скорости реакций $\langle\sigma v\rangle$, тем более что последние являются основными входными данными в моделировании кинетики ядерных процессов в астрофизических задачах.

Указанное замечание носит характер пожелания и ни в коей мере не снижает общего положительного впечатления от диссертационной работы. Диссертация А.С. Соловьева является законченным научным исследованием, результаты которого вносят существенный вклад в развитие микроскопической теории реакций радиационного захвата и позволяют дать теоретическую интерпретацию современным экспериментальным данным.

Представленные в диссертации результаты являются новыми, опубликованы в научных журналах, включенных в перечень ВАК Министерства образования и науки РФ, и доложены на российских и международных конференциях. Обоснованность и достоверность выносимых на защиту результатов и положений обусловлены использованием в работе проверенных теоретических моделей, корректного квантовомеханического и математического формализма, и подтверждаются хорошим описанием имеющихся экспериментальных данных. Личный вклад автора не вызывает сомнений. Автореферат диссертации оформлен надлежащим образом и правильно отражает ее содержание.

Диссертационная работа А.С. Соловьева “Микроскопическое описание процесса радиационного захвата в ядерных кластерных системах” удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК Министерства образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Соловьев А.С. несомненно заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата

физико-математических наук по специальности 01.04.16 – “Физика атомного ядра и элементарных частиц”.

Ведущий научный сотрудник

отдела космофизических исследований НИИЯФ МГУ,

доктор физико-математических наук

В.Т. Ворончев

2 февраля 2015 г.

Подпись В.Т. Ворончева заверяю:

Директор НИИЯФ МГУ,

доктор физико-математических наук

профессор



М.И. Панасюк

Ворончев Виктор Тихонович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела космофизических исследований Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова” (НИИЯФ МГУ).

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Телефон: 8 (495) 939-58-68

E-mail: voronchev@srd.sinp.msu.ru