

«УТВЕРЖДАЮ»

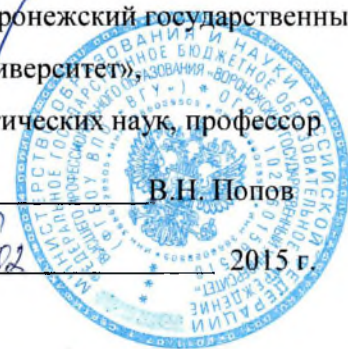
Проректор по научной работе и информатике  
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
университет»,

доктор биологических наук, профессор

В.Н. Попов

« 13 » 02

2015 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования «Воронежский государственный университет»  
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»

Основной целью диссертации является построение микроскопического подхода к описанию реакций радиационного захвата в ядерных кластерных системах, основанного на алгебраической версии метода резонирующих групп (АВМРГ). В качестве приложения развитого подхода рассматриваются зеркальные реакции  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  и  ${}^3\text{H}(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}$ , для которых вычислены парциальные и полные астрофизические S-факторы, а также коэффициенты ветвления при низких и средних энергиях.

**Актуальность** темы диссертационного исследования обусловлена важной ролью реакций радиационного захвата в ядерной астрофизике и целым рядом неопределенностей, касающихся энергетического поведения астрофизических S-факторов этих реакций в области низких, наиболее важных для описания астрофизических процессов, энергий. Это же относится и к выбранным для теоретического анализа вышеуказанным реакциям, существенным как для процесса первичного нуклеосинтеза, так и в кинетике солнечного кора. И хотя исследованиям этих зеркальных реакций в виду их важности посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ, до сих пор их результаты не согласуются друг с другом. Примечательно, что нет согласия и в результатах различных теоретических подходов и, главное, пока нет также и удовлетворительного описания наиболее точных экспериментальных данных последнего

времени.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего в себя 161 наименование. Общий объем диссертации составляет 130 страниц.

**Во Введении** представлен подробный обзор современного состояния рассматриваемой проблемы и научной литературы в области темы диссертационного исследования, сформулирована цель диссертации, обоснованы актуальность, научная новизна и значимость диссертационной работы, а также кратко изложено ее содержание.

**Глава 1** посвящена изложению математического аппарата АВМРГ применительно к двухкластерным системам. Существенно, что в основе выбранного подхода лежит детально разработанный формализм задачи многих тел в базисе функций трехмерного гармонического осциллятора. Это позволяет использовать в рамках АВМРГ достоверные методы вычислений и хорошо контролировать их точность. Метод был предложен Г.Ф. Филипповым и его научной группой в 1980 г., и они же продемонстрировали его способность описывать ядерные реакции. Дальнейшее развитие АВМРГ осуществлялось в направлении учета трехкластерных каналов в ядерных процессах. Рассматриваемая диссертация показывает, что и для двухкластерных систем имеются новые возможности развития АВМРГ, демонстрируя эффективность метода в описании реакций радиационного захвата и, в целом, хорошие его перспективы применительно к исследованию электромагнитных процессов в кластерных системах.

**В главе 2** приведен математический формализм, необходимый для реализации расчетов сечения реакции радиационного захвата при столкновении ядер. В длинноволновом приближении сечение и астрофизический S-фактор радиационного захвата выражаются через матричные элементы электромагнитных мультипольных операторов. Наиболее важные электрические дипольный и квадрупольный операторы записаны в виде суммы двухчастичных трансляционно-инвариантных операторов, а магнитный дипольный оператор – в виде суммы одно- и двухчастичных операторов. Выяснилось, что, казалось бы, чисто формальная новая запись операторов очень удобна. Именно этот прием позволяет для расчета их матричных элементов в базисе волновых функций АВМРГ применять в полном объеме методы, представленные в первой главе диссертации.

**В главе 3** диссертации развитый автором формализм предыдущих глав применен для исследования реакции  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ . Для нее в области низких и средних энергий рассчитаны парциальные и суммарный астрофизические S-факторы и коэффициент ветвления. Существенно, что полученные значения указанных величин заполняют и недоступную для экспериментального измерения область астрофизически важных

энергий. Это принципиально важно при рассмотрении астрофизических приложений реакции, тем более что в доступном для измерений в земных условиях диапазоне энергий результаты проведенных расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными. В пользу достоверности полученных результатов говорит и тот факт, что результаты параллельных и, по сути, контрольных вычислений фаз упругого рассеяния в системе  ${}^4\text{He} + {}^3\text{He}$  очень хорошо согласуются с данными, извлеченными из эксперимента. Рассчитаны также и энергии связи ядер  ${}^{3,4}\text{He}$  и  ${}^7\text{Be}$ , которые находятся в разумном согласии с их экспериментальными значениями. В диссертации проведено также подробное сравнение результатов выполненного в рамках АВМРГ расчета полного астрофизического S-фактора реакции  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  и микроскопических расчетов других авторов. Это сравнение, а также хорошее описание наиболее современных и точных экспериментальных данных, демонстрируют явные преимущества предложенного метода.

**В главе 4** в области низких и средних энергий проведен расчет парциальных и суммарного астрофизических S-факторов и коэффициента ветвления для реакции  ${}^3\text{H}(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}$ . В этом расчете, как и в случае зеркальной реакции  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ , охватывается недоступная для измерений область энергий, важная для астрофизических приложений. При этом, как и в предыдущей главе, полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными в доступной для измерений области. Одновременно для контроля эффективности предложенного метода также рассчитаны фазы упругого рассеяния в системе  ${}^4\text{He} + {}^3\text{H}$  и энергии связи ядер  ${}^3\text{H}$ ,  ${}^4\text{He}$  и  ${}^7\text{Li}$ , которые неплохо согласуются с имеющимися экспериментальными данными. Особенно это относится к фазам упругого рассеяния. Как и в предыдущей главе, проведено подробное сравнение полученных результатов с результатами микроскопических и полумикроскопических расчетов других авторов. Можно заключить, что предложенный в диссертации метод дает результаты, наилучшим образом согласующиеся с экспериментальными данными, и в этом плане он превосходит другие теоретические методы. Его преимущество и в том, что он при получении S-факторов позволяет рассматривать область низких энергий, не доступную эксперименту, но необходимую для астрофизических приложений.

**В Заключение** формулируются основные результаты диссертации с указанием их научной и практической значимости, причем они и предлагаемый теоретический метод составляют также и основные научные положения, выдвигаемые для защиты.

Диссертационная работа А.С. Соловьева представляет собой законченное, логически выстроенное научное исследование. Полученные в диссертации результаты являются новыми. Они имеют научную и практическую значимость для ядерной астрофизики и теории ядерных реакций. Практическая значимость обусловлена

получением величин  $S$ -факторов именно в области энергий, недоступной для экспериментальных исследований. Это обстоятельство позволяет специалистам в области ядерной астрофизики заново рассчитать соотношение ключевых процессов, существенных для первичного и звездного синтеза элементов. Кроме этого, развитый в диссертации теоретический подход к рассмотрению кластерных процессов с участием электромагнитного поля позволяет исследовать и другие процессы синтеза ядер по кластерным каналам.

Результаты диссертации и положения, выносимые на защиту, являются **достоверными**. Это подтверждается использованием современных и обоснованных методов теоретической и математической физики, теории атомного ядра, а также согласием полученных результатов с экспериментальными данными. Основные результаты диссертации опубликованы в трех рецензируемых российских журналах, включенных в перечень ВАК РФ, апробированы на различных международных и российских конференциях. Результаты диссертации могут быть использованы в научных центрах, ведущих исследования в области ядерной астрофизики и теории ядерных реакций, а также в спецкурсах, читаемых в ВУЗах для студентов соответствующих профилей.

Замечания по диссертации:

1. Последовательный АВМРГ подход, развитый автором, позволяет исследовать результаты расчетов в различных приближениях, но это не сделано. Такое исследование позволило бы выделить наиболее значимые и менее важные факторы, влияющие на величины астрофизических  $S$ -факторов и быть полезным в других приложениях теории.

2. Поскольку большой интерес для астрофизических приложений рассмотренных реакций представляют расчеты  $S$ -факторов в низкоэнергетической области, имело бы смысл изучение влияния температуры среды, которая может быть большой, путем введения дополнительного электромагнитного поля с планковским спектром частот. Оно может изменить экспоненциальный характер сечения процесса и тем самым скорректировать поведение  $S$ -фактора.

3. Стоило бы подробнее обосновать использование в расчетах формулы для вероятности электромагнитного перехода в длинноволновом приближении. В рассматриваемых задачах одно из состояний кластерной системы принадлежит непрерывному спектру, и применимость длинноволнового приближения может не быть очевидной.

4. В расчетах использовался только ядерный потенциал Хазегавы–Нагаты. Было бы желательно на примере исследованных реакций протестировать и другие известные NN-

потенциалы. В частности, в работах И.В. Копытина и др. (ЯФ, т. 61, стр. 641 (1998 г.); т. 63, стр. 1861 (2000 г.)) для обратной реакции фотораспада  ${}^7\text{Li}(\gamma, t)\alpha$  в рамках кластерной  $\alpha$ -модели были протестированы различные  $\alpha$ -потенциалы.

Сделанные замечания, в основном, являются пожеланиями и не снижают общую высокую оценку диссертации, которая носит вполне законченный характер.

Автореферат диссертации правильно и достаточно полно отражает ее содержание. Тематика диссертационного исследования соответствует паспорту специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что диссертация А.С. Соловьева «Микроскопическое описание процесса радиационного захвата в ядерных кластерных системах» вносит существенный вклад в теорию реакций радиационного захвата и дает новую теоретическую интерпретацию экспериментальным данным по реакциям радиационного захвата  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  и  ${}^3\text{H}(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}$ , важным для современной ядерной астрофизики. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Соловьев Александр Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Отзыв на диссертацию составлен заведующим кафедрой теоретической физики ВГУ, доктором физико-математических наук, профессором И.В. Копытиным, обсужден и принят на заседании кафедры теоретической физики 13 февраля 2015 г., протокол № 4.

Зам. зав. кафедрой теоретической физики ВГУ,  
доктор физико-математических наук, профессор

Н.И. Манаков

Заведующий кафедрой теоретической физики ВГУ,  
доктор физико-математических наук, профессор

И.В. Копытин

Адрес: 394006, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1, ВГУ, кафедра теоретической физики. Телефон: 8 (473) 220-87-56. E-mail: thp@phys.vsu.ru.

