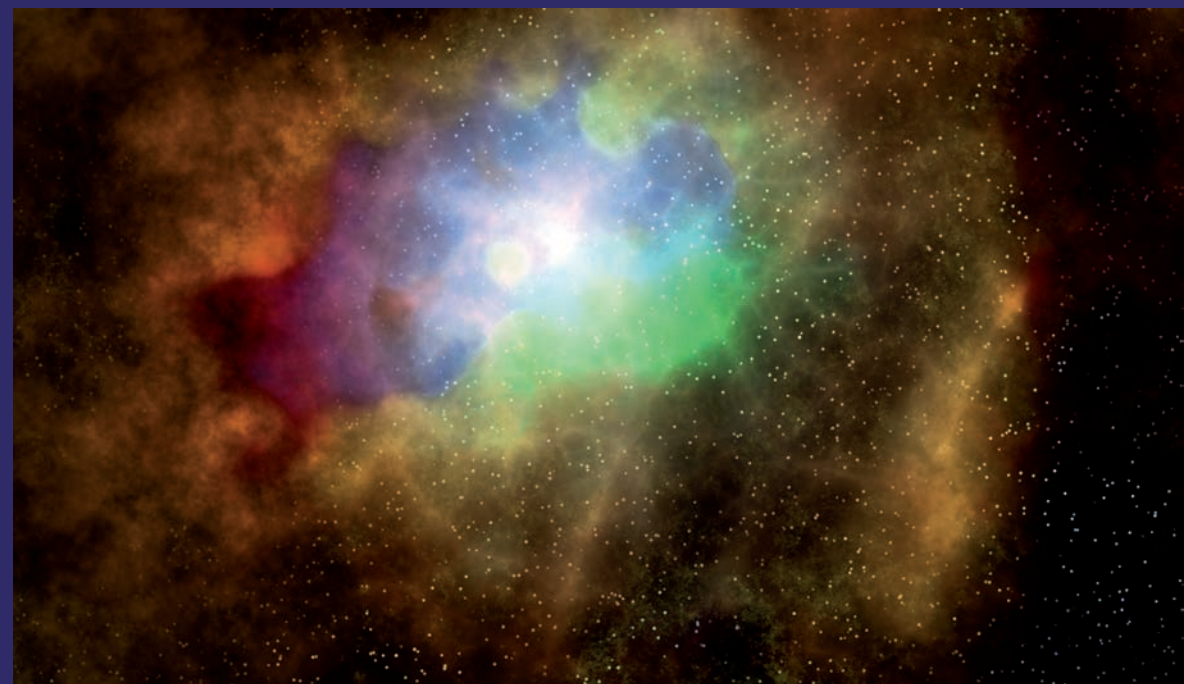


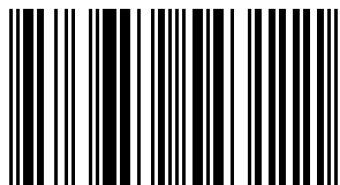
Данная книга является дополненным и переработанным изданием предыдущей книги автора «Избранные методы ядерной астрофизики». В ней приводятся простые, но эффективные методы расчета ядерных характеристик термоядерных реакций. Полученные результаты непосредственно применимы к решению некоторых задач ядерной астрофизики в области описания термоядерных процессов на Солнце, звездах и Вселенной. Первая глава содержит описание общих методов расчета основных ядерных характеристик для связанных состояний и континуума ядерных частиц. Вторая – методам поиска фаз рассеяния, компьютерным программам и результатам фазового анализа упругого рассеяния некоторых ядерных систем при низких энергиях. В третьей главе приводятся результаты, полученные на основе трехтельных моделей отдельных легких атомных ядер, которые используются для проверки, определяемых на основе фаз упругого рассеяния межкластерных потенциалов. В четвертой рассматриваются процессы радиационного захвата нейтронов при астрофизических и низких энергиях на некоторых легких атомных ядрах. И в пятой главе продолжено рассмотрение процессов радиационного захвата нейтронов и протонов при астрофизических энергиях на легких ядрах.

Первичный нуклеосинтез Вселенной



Сергей Дубовиченко

Академик Европейской Академии Естественных Наук, академик Российской Академии Естествознания, академик Международной Академии Информатизации Казахстана (РК), доктор физико-математических наук РК и Российской Федерации (РФ), профессор, член Американского физического общества, член Европейского физического общества



978-3-659-54311-1

Дубовиченко

Сергей Дубовиченко

Первичный нуклеосинтез Вселенной

и захват протонов



Сергей Дубовиченко
Первичный нуклеосинтез Вселенной

Сергей Дубовиченко

**Первичный нуклеосинтез Вселенной
и захват протонов**

LAP LAMBERT Academic Publishing

Impressum / Выходные данные

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Библиографическая информация, изданная Немецкой Национальной Библиотекой. Немецкая Национальная Библиотека включает данную публикацию в Немецкий Книжный Каталог; с подробными библиографическими данными можно ознакомиться в Интернете по адресу <http://dnb.d-nb.de>.

Любые названия марок и брендов, упомянутые в этой книге, принадлежат торговой марке, бренду или запатентованы и являются брендами соответствующих правообладателей. Использование названий брендов, названий товаров, торговых марок, описаний товаров, общих имён, и т.д. даже без точного упоминания в этой работе не является основанием того, что данные названия можно считать незарегистрированными под каким-либо брендом и не защищены законом о брендах и их можно использовать всем без ограничений.

Coverbild / Изображение на обложке предоставлено: www.ingimage.com

Verlag / Издатель:

LAP LAMBERT Academic Publishing

ist ein Imprint der / является торговой маркой

OmniScriptum GmbH & Co. KG

Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Deutschland / Германия

Email / электронная почта: info@lap-publishing.com

Herstellung: siehe letzte Seite /

Напечатано: см. последнюю страницу

ISBN: 978-3-659-54311-1

Copyright / АВТОРСКОЕ ПРАВО © 2014 OmniScriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Все права защищены. Saarbrücken 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ (I. Strakovsky)	9
ПРЕДИСЛОВИЕ (Автора)	11
ВВЕДЕНИЕ	17
I. МЕТОДЫ РАСЧЕТА	23
<i>Введение</i>	24
1.1 <i>Обзор возможностей кластерной модели</i>	26
1.1.1 Основные принципы модели	26
1.1.2 Развитие модели и основные результаты	29
1.1.3 Представления и методы модели	32
1.2 <i>Потенциалы и волновые функции</i>	35
1.3 <i>Методы фазового анализа</i>	39
1.4 <i>Некоторые численные методы</i>	41
1.5 <i>Обобщенная матричная задача на собственные значения</i>	53
1.6 <i>Общие принципы трехтельной модели</i>	62
1.7 <i>Вариационные методы трехтельной модели</i>	64
1.8 <i>Полные сечения радиационного захвата</i>	68
1.9 <i>Построение межкластерных потенциалов</i>	70
1.10 <i>Классификация кластерных состояний</i>	73
<i>Заключение</i>	75
II. ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ	77
<i>Введение</i>	78
2.1 <i>Фазовый анализ упругого ${}^4\text{He}^4\text{He}$ рассеяния</i>	79
2.1.1 <i>Обзор эксперимента по упругому ${}^4\text{He}^4\text{He}$ рассеянию</i>	79
2.1.2 <i>Методы фазового анализа упругого ${}^4\text{He}^4\text{He}$ рассеяния</i>	81
2.1.3 <i>Проверка компьютерной программы</i>	83

2.1.4 Результаты фазового анализа упругого ${}^4\text{He}{}^4\text{He}$ рассеяния	86
2.1.5 Программа для ${}^4\text{He}{}^4\text{He}$ и ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ фазового анализа	102
2.2 <i>Фазовый анализ упругого ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ рассеяния</i>	117
2.2.1 Дифференциальные сечения	117
2.2.2 Фазовый анализ	118
2.3 <i>Фазовый анализ упругого $p^{12}\text{C}$, $n^{12}\text{C}$ и $p^{14}\text{C}$ рассеяния</i>	132
2.3.1 Дифференциальные сечения	132
2.3.2 Контроль компьютерной программы	135
2.3.3 Фазовый анализ $p^{12}\text{C}$ рассеяния	139
2.3.4 Фазовый анализ упругого $n^{12}\text{C}$ рассеяния	144
2.3.5 Фазовый анализ упругого $p^{14}\text{C}$ рассеяния	151
2.3.6 Программа для $n^{12}\text{C}$ и $p^{12}\text{C}$ ($p^{14}\text{C}$) фазового анализа	159
2.4 <i>Фазовый анализ упругого $p^6\text{Li}$ рассеяния</i>	171
2.4.1 Дифференциальные сечения	171
2.4.2 Фазовый анализ	172
2.4.3 Программа для фазового анализа	178
2.5 <i>Фазовый анализ и компьютерные программы для рассеяния частиц со спином $1/2+1/2$</i>	190
2.5.1 Система со спин-орбитальным взаимодействием	190
2.5.2 Система со спин-орбитой и синглет-триплетным смешиванием	207
2.5.3 Фазовый анализ упругого $p^{13}\text{C}$ рассеяния с учетом спин-орбиты	230
2.5.4. Фазовый анализ упругого $n^3\text{He}$ рассеяния	235
Заключение	242

III. ТРЕХТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ	243
<i>Введение</i>	244
3.1 <i>Трехтельные конфигурации ядра</i>	
${}^7\text{Li}$ и <i>трехтельная программа</i>	245
3.1.1 Потенциалы и фазы	245
3.1.2 Компьютерная программа	249
3.1.3 Трехтельные результаты	269
3.2 <i>Трехтельная модель ядра ${}^9\text{Be}$</i>	274
3.2.1 Потенциалы и фазы рассеяния	274
3.2.2 Трехтельные результаты и	
фотосечения	276
3.3 <i>Трехкластерная структура ${}^{11}\text{B}$</i>	284
3.3.1 Потенциалы и фазы	285
3.3.2 Трехтельные результаты	287
<i>Заключение</i>	299
IV. РАДИАЦИОННЫЙ ЗАХВАТ НЕЙТРОНОВ	
НА ЛЕГКИХ ЯДРАХ	301
<i>Введение</i>	303
4.1 <i>Радиационный захват $n^2\text{H}$</i>	
<i>в кластерной модели</i>	309
4.1.1 Потенциальное описание	
упругого $n^2\text{H}$ рассеяния	309
4.1.2 Полные сечения радиационного	
$n^2\text{H}$ захвата	313
4.2 <i>Радиационный $n^6\text{Li}$ захват</i>	319
4.2.1 Потенциальное описание $n^6\text{Li}$	
рассеяния	319
4.2.2 Полные сечения радиационного	
$n^6\text{Li}$ захвата	325
4.3 <i>Кластерная $n^7\text{Li}$ система</i>	334
4.3.1 Классификация кластерных	
состояний в $n^7\text{Li}$ системе	334
4.3.2 Потенциальное описание упругого	
$n^7\text{Li}$ рассеяния	338
4.3.3 Радиационный ${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$ захват	346
4.4 <i>Астрофизический $n^9\text{Be}$ захват</i>	353

4.4.1 Классификация орбитальных состояний в $n^9\text{Be}$ системе	353
4.4.2 Потенциальное описание $n^9\text{Be}$ фаз рассеяния.....	356
4.4.3 Полные сечения $n^9\text{Be}$ захвата.....	364
4.5 <i>Радиационный захват в $n^{12}\text{C}$ и $n^{13}\text{C}$ системах</i>	370
4.5.1 Полные сечения $n^{12}\text{C}$ захвата	371
4.5.2 Полные сечения $n^{13}\text{C}$ захвата	383
4.6. <i>Радиационный захват в $n^{14}\text{C}$ и $n^{14}\text{N}$ системах</i>	394
4.6.1. Классификация $n^{14}\text{C}$ и $n^{14}\text{N}$ состояний и потенциалы $n^{14}\text{C}$ рассеяния.....	394
4.6.2. Полные сечения $n^{14}\text{C}$ захвата	399
4.6.3. Потенциалы $n^{14}\text{N}$ рассеяния.....	403
4.6.4. Полные сечения $n^{14}\text{N}$ захвата	408
4.7 <i>Радиационный $n^{15}\text{N}$ захват</i>	412
4.7.1 Потенциалы $n^{15}\text{N}$ рассеяния.....	412
4.7.2 Полные сечения $n^{15}\text{N}$ захвата	422
4.8 <i>Радиационный захват в $n^{16}\text{O}$ системе</i>	432
4.8.1 Фазы и потенциалы $n^{16}\text{O}$ рассеяния.....	433
4.8.2 Полные сечения радиационного захвата.....	441
4.9 <i>Компьютерная программа для расчетов полных сечений радиационного захвата</i>	451
<i>Заключение</i>	476
V. НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА	481
5.1. <i>Радиационный захват нейтронов на ядре ^{10}B</i>	483
5.1.1 Структура кластерных состояний $n^{10}\text{B}$ системы	483
5.1.2. Межкластерные потенциалы.....	491
5.1.3. Полные сечения захвата	495
5.2. <i>Захват нейтронов на ядре ^{11}B</i>	507
5.2.1 Классификация кластерных состояний в $n^{11}\text{B}$ системе.....	507

5.2.2 Потенциалы $n^{11}\text{B}$ взаимодействия.....	513
5.2.3 Полные сечения радиационного $n^{11}\text{B}$ захвата.....	518
5.3. <i>Радиационный захват протонов на ядре ^{10}B</i>	526
5.3.1 Классификация кластерных состояний и структура уровней $p^{10}\text{B}$ системы.....	526
5.3.2 Построение потенциалов $p^{10}\text{B}$ взаимодействий.....	531
5.3.3 Полные сечения радиационного $p^{10}\text{B}$ захвата.....	536
5.4. <i>Протонный захват на ядре ^{11}B</i>	542
5.4.1 Структура кластерных состояний.....	543
5.4.2 Потенциалы взаимодействия.....	546
5.4.3 Полные сечения захвата.....	551
5.5. <i>Радиационный захват протонов ядром ^{13}C</i>	557
5.5.1 Фазовый анализ и межкластерные потенциалы.....	557
5.5.2 Астрофизический S-фактор радиационного $p^{13}\text{C}$ захвата.....	563
5.6. <i>Захват протонов на ядре ^{14}C</i>	568
5.6.1 Классификация по схемам Юнга и структура кластерных состояний.....	569
5.6.2 Потенциалы взаимодействия и полные сечения захвата.....	571
5.7. <i>Радиационный захват протонов на ядре ^{15}N</i>	576
5.7.1 Потенциалы взаимодействия и структура резонансных состояний.....	576
5.7.2 Полные сечения $p^{15}\text{N}$ захвата.....	582
<i>Заключение</i>	586
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	589
P.S.....	593
БЛАГОДАРНОСТИ.....	599
ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ.....	601

ПРИЛОЖЕНИЕ	603
<i>Вариационная двухтельная программа</i>	
ЛИТЕРАТУРА	623

Дубовиченко С.Б.
"Первичный нуклеосинтез Вселенной"

2014г., 661с.

Дополненное и переработанное издание книги
«Избранные методы ядерной астрофизики»

Рецензенты

Д.ф.-м.н., профессор **Мухамеджанов А.М.**

(Техасский университет, Техас, США),

д.ф.-м.н., профессор **Страковский И.И.**

(Вашингтонский университет, Вашингтон, США),

д.ф.-м.н., профессор **Багров В.Г.**

(ТГУ, Томск, РФ),

д.ф.-м.н., профессор **Ишханов Б.С.**

(МГУ, Москва, РФ),

Лауреат государственной премии РК, академик НИА РК,

член-корр. НАН РК, д.ф.-м.н., профессор

Данаев Н.Т.

(КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, РК),

Лауреат государственной премии РК, д.ф.-м.н., профессор

Дуйсебаев А.Д.

(ИЯФ, Алматы, РК)

Научные консультанты

Академик НАН РК, д.ф.-м.н., профессор **Боос Э.Г.**

(ФТИ, Алматы, РК),

академик НАН РК, д.ф.-м.н., профессор **Омаров Т.Б.**

(АФИФ, Алматы, РК),

д.ф.-м.н. РК и РФ, профессор **Буркова Н.А.**

(КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, РК),

д.ф.-м.н. РФ, профессор **Узиков Ю.Н.**

(ОИЯИ, Дубна, РФ)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Прогресс в изучении Вселенной, особенно на начальном этапе её формирования, во многом связан с развитием определенных областей физики атомного ядра и элементарных частиц. Хотя материал, представленный в данной книге, имеет непосредственное отношение к ядерной физике, он посвящен в первую очередь методам расчета ядерных характеристик термоядерных процессов. Причем большинство из них относится к реакциям первичного нуклеосинтеза, которые протекали на начальном этапе развития нашей Вселенной.

Представляемая книга приводит методы расчета термоядерных процессов, которые основаны на результатах, полученных в нескольких десятках научных статей. Эти работы были опубликованы в рецензируемых журналах в последние годы. В книге описываются основные математические методы расчета, приводятся варианты компьютерных программ и даются результаты фазовых анализов упругого рассеяния для двухчастичных реакций при астрофизических энергиях. В рамках трехтельной модели выполняется проверка полученных на основе фазовых анализов двухчастичных потенциалов взаимодействия.

Апробированные таким образом потенциалы используются затем для решения некоторых задач ядерной астрофизики, связанных с описанием термоядерных процессов первичного нуклеосинтеза. Все результаты получены в рамках модифицированной потенциальной кластерной модели, которая для построения таких потенциалов использует методы классификации орбитальных состояний по схемам Юнга. Особое внимание уделено рассмотрению процесса радиационного захвата нейтронов лёгкими атомными ядрами. Большинство из рассмотренных реакций составляют цепочку процессов первичного нуклеосинтеза Вселенной.

Данная книга тесно связана с предыдущей книгой автора - «Термоядерные процессы Вселенной», изданной в 2011г. в

Алматы (Казахстан), которую на русском языке можно найти на сервере Корнельского Университета - <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1012/1012.0877.pdf>. Английский вариант этой книги в сокращенном виде издан Нью-Йоркским издательством «NOVA Scientific Publishers» в 2012г - https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=31125. В обеих книгах в рамках единых принципов рассмотрены 27 термоядерных реакций, которые протекали на разных стадиях формирования и развития нашей Вселенной.

Эта книга не претендует на исчерпывающее изложение всех методов, используемых в ядерной астрофизике даже при объяснении термоядерных процессов, однако приводит сравнительно много методов расчета ядерных характеристик, которые используются в задачах ядерной астрофизики. Книга содержит новые результаты, которые пока не нашли отраженные в монографической литературе, и будет полезна как профессионалам, так и молодым исследователям в области ядерной астрофизики и ядерной физики низких энергий.

Igor Strakovsky
Research Professor of Physics
Institute for Nuclear Studies & Department of Physics
The George Washington University, DC, USA

May 6, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

(Автора)

Применение достижений современной ядерной физики к изучению космических явлений и термоядерных реакций на Солнце и звездах позволило построить качественно согласующиеся с наблюдениями теорию образования, строения и эволюции звезд, и объяснить распространенность химических элементов во Вселенной [1].

Практически любые задачи ядерной астрофизики связаны с определенными проблемами ядерной физики, обычно, сверхнизких энергий и, как правило, легких атомных ядер, участвующих в термоядерных процессах, протекающих в нашей Вселенной на разных стадиях ее образования и развития [1,2]. Например, невозможно рассматривать астрофизические характеристики термоядерных реакций на Солнце и звездах не привлекая для этого понятий и представлений ядерной физики сверхнизких энергий [3]. Невозможно анализировать процессы, протекавшие при Большом Взрыве [4], которые в самом его начале являлись ядерными реакциями при высоких и сверхвысоких энергиях, не привлекая для этого модели и методы современной физики элементарных частиц, например, "Стандартной Модели" [5]. Иначе говоря, невозможно рассматривать астрономические явления и физические свойства астрономических объектов, не привлекая для этого законы физики в целом и ядерной физики в частности!

Одним из исключительно успешных направлений развития ядерной физики в последние 50-60 лет стала микроскопическая модель под названием "Метод Резонирующих Групп" (МРГ, см., например, [6,7,8,9]. А также связанные с ней модели, например, метод генераторной координаты (МГК, см., в частности, [9]) или алгебраическая версия МРГ (АМРГ) [10]. Такой очевидный ус-

пех привел большинство физиков к представлению, что только в этом направлении будет возможно дальнейшее получение новых результатов в области ядерной физики низких энергий и ядерной астрофизики. В итоге сложилось очень распространенное, но, по-видимому, ошибочное мнение, что только по этому пути возможно дальнейшее развитие наших представлений о структуре атомного ядра, ядерным и термоядерным реакциям при низких, астрофизических и тепловых энергиях.

Однако далеко не всегда для объяснения имеющихся экспериментальных фактов требуются сравнительно сложные МРГ вычисления. До сих пор не полностью исследованы возможности простой потенциальной двухчастичной кластерной модели (ПКМ), особенно, если она использует концепцию запрещенных состояний (ЗС) [11]. Потенциалы такой модели для дискретного спектра строятся так чтобы правильно воспроизвести основные характеристики связанных состояний (СС) легких ядер в кластерных каналах, а в непрерывном спектре они непосредственно учитывают резонансное поведение фаз упругого рассеяния взаимодействующих частиц при низких энергиях [12].

Для рассмотрения многих задач ядерной физики низких энергий и ядерной астрофизики вполне достаточно использовать простую ПКМ с ЗС, учитывающую классификацию орбитальных состояний по схемам Юнга и резонансное поведение фаз упругого рассеяния – такую модель можно назвать модифицированной ПКМ с ЗС (МПКМ). Этот подход, как будет видно далее, во многих случаях позволяет получить вполне адекватные результаты при описании полных сечений многих экспериментальных исследований термоядерных реакций при низких и астрофизических энергиях [11,12].

Продолжая рассмотрение термоядерных процессов, протекающих в различных объектах Вселенной на разных стадиях ее формирования и развития [12], представлены новые результаты в области исследований термоядерных реакций при сверхнизких, тепловых и астрофизических энергиях. Описаны методы их анализа с точки зрения общих законов, подходов и принципов современной ядерной физики. В качестве основной ядерной

модели используется двухчастичная МПКМ, которая позволяет рассматривать некоторые термоядерные процессы, а именно, реакции радиационного захвата нейтронов и протонов на основе единых представлений, критериев и методов.

Иначе говоря, рассмотрены некоторые методы решения определенных задач ядерной астрофизики, а именно, способы описания термоядерных процессов первичного нуклеосинтеза Вселенной при тепловых и астрофизических энергиях в рамках МПКМ. Эти методы, кроме того, могут использоваться для анализа термоядерных реакций на Солнце и звездах, которые входят в различные термоядерные циклы, т.е. позволяют рассматривать некоторые ядерные реакции типа радиационного захвата при сверхнизких энергиях [12].

Книга непосредственно основана на результатах, примерно, четырех-пяти десятках научных статей и обзоров (хотя здесь приведены ссылки более чем на 100 статей и обзоров, и несколько, с учетом их переизданий, книг автора), опубликованных, в основном, за последние пять-семь лет в России, Европе, США и странах СНГ и состоит из пяти глав.

Первая из них посвящена описанию общих математических методов расчета некоторых ядерных характеристик для связанных состояний и континуума ядерных частиц, которые используются для нахождения волновой функции системы этих частиц при заданных потенциалах взаимодействия. Определены также общие критерии и методы построения межкластерных потенциалов в непрерывном и дискретном спектре, которые используются далее для рассмотрения термоядерных процессов в рамках модифицированной потенциальной кластерной модели с запрещенными состояниями и классификацией орбитальных состояний кластеров по схемам Юнга.

Вторая содержит методы, компьютерные программы и результаты фазового анализа упругого рассеяния ядерных частиц $n^3\text{He}$, $p^6\text{Li}$, $p^{12}\text{C}$, $n^{12}\text{C}$, $p^{13}\text{C}$, $p^{14}\text{C}$, $n^{16}\text{O}$ (эта система рассмотрена в четвертой главе), $^4\text{He}^4\text{He}$ и $^4\text{He}^{12}\text{C}$ при низких и астрофизических энергиях. Эти результаты используются для построения парных межкластерных потенциалов взаимодействия в непре-

ривном спектре. Потенциалы связанных состояний ядер в кластерных каналах, которые совпадают с частицами начального канала, строятся на основе описания некоторых характеристик таких состояний. Например, это энергия связи, зарядовый радиус и асимптотическая константа в рассматриваемом кластерном канале. Полученные таким образом потенциалы используются далее для расчетов некоторых основных характеристик термоядерных процессов первичного нуклеосинтеза Вселенной и некоторых Солнечных циклов [3].

В третьей главе приводятся результаты, полученные в трехтельных одноканальных моделях некоторых легких атомных ядер, а именно, ${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$ и ${}^{11}\text{B}$. Они позволяют проверить адекватность построения на основе фаз упругого рассеяния и характеристик связанных состояний легких ядер парных межкластерных потенциалов. Эти результаты позволяют выяснить применимость полученных таким образом потенциалов в трехтельных задачах и определить целесообразность дальнейшего использования взаимодействий, полученных на такой основе, для описания основных характеристик термоядерных процессов в рамках МПКМ.

Четвертая глава посвящена описанию результатов, полученных в рамках модифицированной потенциальной кластерной модели, для радиационного захвата нейтронов тепловых и астрофизических энергий на некоторых легких атомных ядрах с массой от 2 до 16 в широкой энергетической области, охватывающей обычно 7 ÷ 9 порядков по энергии.

И, наконец, пятая глава посвящена новым результатам по радиационному захвату протонов и нейтронов на некоторых легких ядрах, а именно, ${}^{10,11}\text{B}$, ${}^{13}\text{C}$, ${}^{14}\text{C}$ и ${}^{15}\text{N}$, при тепловых и астрофизических энергиях. И в данном случае использованная модифицированная потенциальная кластерная модель позволяет получить вполне адекватные результаты при описании полных сечений таких процессов.

В результате рассматриваются все наиболее существенные этапы построения, на основе экспериментальных данных, двухчастичных потенциалов, требуемых в дальнейшем для прове-

дения расчетов основных характеристик термоядерных процессов радиационного захвата. Конечно, данная книга не претендует на исчерпывающее изложение всех методов, используемых в современной ядерной астрофизике даже при объяснении термоядерных процессов. Она посвящена только некоторым методам и результатам ядерной физики низких энергий, которые могут быть непосредственно использованы для решения определенного круга задач ядерной астрофизики при описании термоядерных реакций, протекающих на Солнце, звездах и в процессе образования, формирования и развития нашей Вселенной.

Следует заметить, что данная книга является дополненным и переработанным изданием книги автора «Избранные методы ядерной астрофизики», которая была издана издательством «LAP» в 2013г. 480с.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные экспериментальные данные по сечениям ядерных реакций и ядерного рассеяния при низких энергиях являются основным источником информации о структуре ядер, свойствах и механизмах взаимодействия между ядрами и их фрагментами, вероятности кластеризации таких ядер [16].

Одной из главных характеристик термоядерных процессов, протекающих в природных термоядерных котлах – звездах или реакциях управляемого термоядерного синтеза, является астрофизический S -фактор или полные сечения радиационного захвата, определяющие скорость протекания такой реакции. Поэтому можно, по-видимому, считать, что одной из основных задач ядерной астрофизики является определение формы S -фактора или полного сечения и их зависимости от энергии в области нулевой энергии, т.е. при энергиях, стремящихся к нулю. Решить эту задачу можно несколькими способами, вытекающими из возможностей экспериментальной и теоретической ядерной физики. Один из них основывается исключительно на экспериментальных методиках измерений полных сечений ядерных реакций при сверхнизких энергиях, а второй, на определенных теоретических, а именно, модельных представлениях о ядерных процессах в астрофизической области энергий.

В принципе, астрофизический S -фактор всегда можно определить экспериментально, но в настоящее время для большинства взаимодействующих легких ядер, которые участвуют в различных термоядерных процессах, это оказывается возможным только при энергиях, примерно, в области $100 \text{ keV} \div 1.0 \text{ MeV}$. Причем ошибки экспериментальных измерений не редко доходят до ста и более процентов [13]. Однако, для реальных астрофизических расчетов, например, развития и уточнения модели эволюции звезд [14], а, возможно, и всей нашей Вселенной на современном этапе ее развития [4,15], его значения, причем, с минимально возможными ошибками, требуются при энер-

гиях, как правило, в области от 0.1 до 100 keV, что соответствует температурам в центре звезды порядка $10^6 \text{ K} \div 10^9 \text{ K}$.

Один из методов определения величины астрофизического S -фактора при нулевой энергии, т.е. энергии порядка 1 keV и меньше, это экстраполяция его значений из области, где он экспериментально определим, в область более низких энергий. Это обычный путь, который используется, в первую очередь, после выполнения измерения сечения некоторой термоядерной реакции. Однако большие экспериментальные ошибки определения S -фактора [13] приводят к большим неоднозначностям проводимых экстраполяций, что существенно снижает ценность таких результатов.

Второй, и, по-видимому, наиболее перспективный и предпочтительный путь, заключается в теоретических расчетах S -фактора некоторой термоядерной реакции, например, радиационного захвата на основе определенной ядерной модели [3]. Такой метод основан на вполне очевидном предположении, что если некоторая модель ядерных процессов позволяет правильно описать экспериментальные данные в той области энергий, где они имеются, то допустимо предположить, что она будет правильно передавать форму S -фактора и при более низких энергиях, порядка 1 keV и ниже, где на сегодняшний день прямые экспериментальные измерения его значений пока еще не возможны.

В этом и заключается определенное преимущество второго подхода [3,16] над обычной экстраполяцией экспериментальных данных к нулевой энергии, поскольку любая ядерная модель строится так, что имеет вполне определенное микроскопическое обоснование с точки зрения общих принципов современной ядерной физики и квантовой механики. Поэтому всегда имеется вполне определенная надежда в существовании некоторых предсказательных возможностей такой модели, особенно, если области энергий, где имеются экспериментальные данные и в которой требуется получить новые, т.е., по сути, предсказательные результаты, существенно не отличаются.

Что касается выбора ядерной модели, то нами для подобных расчетов обычно используется модифицированная потенциальная кластерная модель легких атомных ядер с классификацией орбитальных состояний по схемам Юнга [11,17,18,19]. Такая модель предоставляет

сравнительно много простых возможностей для выполнения различных расчетов астрофизических характеристик, например, астрофизического S -фактора или полных сечений радиационного захвата для электромагнитных переходов из состояний рассеяния кластеров на связанные состояния легких атомных ядер в этих кластерных каналах [12]. В целом, данная книга посвящена демонстрации некоторых возможностей потенциальных двух- и трехкластерных моделей и межкластерных потенциалов, которые строятся в основном на основе фаз упругого рассеяния, получаемых при фазовом анализе экспериментальных сечений, на примере нескольких легких ядер и состоит из пяти глав.

В первой из них рассматриваются общие методы расчетов ядерных характеристик и термоядерных процессов в МПКМ [16,20]. Во второй – методы, компьютерные программы и результаты фазового анализа упругого рассеяния $n^3\text{He}$, $p^6\text{Li}$, $p^{12}\text{C}$, $n^{12}\text{C}$, $p^{13}\text{C}$, $n^{16}\text{O}$ (результаты для $n^{16}\text{O}$ системы даны в четвертой главе), $^4\text{He}^4\text{He}$ и $^4\text{He}^{12}\text{C}$ при низких и сверхнизких энергиях, которые используются для построения межкластерных потенциалов в некоторых задачах ядерной астрофизики [12,20]. В третьей главе приведены результаты трехтельной, трехкластерной одноканальной модели некоторых легких атомных ядер, а именно, ^7Li , ^9Be и ^{11}B . Эти результаты служат определенным тестом качества межкластерных потенциалов построенных на основе извлеченных из эксперимента фаз упругого рассеяния [21]. В четвертой приведены результаты расчетов полных сечений реакций радиационного захвата нейтронов на некоторых легких ядрах при астрофизических энергиях. И наконец, в новой, пятой главе приведены последние результаты по описанию полных сечений процессов радиационного захвата нейтронов и протонов на ядрах $^{10,11}\text{B}$ и протонов на ядрах ^{13}C , ^{14}C и ^{15}N .

Изложенные методы расчета (Глава 1) позволяют избежать неоднозначности в определении различных характеристик ядерных свойств и процессов, которые рассматриваются далее. В ней приводятся алгоритмы, а в дальнейшем и компьютерные программы для расчетов, рассматриваемых в книге, модельных характеристик, например, фаз упругого рассеяния для систем квантовых частиц с разным спином [22]. Результаты фазового анализа (Глава 2), т.е. фазы уп-

ругого рассеяния, позволяют получать, как уже говорилось, межкластерные потенциалы взаимодействия, которые могут использоваться в дальнейшем для различных астрофизических приложений, частично рассмотренных, например, в предыдущей книге автора [12] и далее в четвертой главе. Использование некоторых трехтельных моделей (Глава 3) дает возможность дополнительной апробации полученных на основе фазового анализа межкластерных потенциалов, и выяснения дальнейшей применимости подобных потенциалов в расчетах, связанных с астрофизическими характеристиками ядерных систем и ядерных реакций при низких и сверхнизких, т.е. астрофизических энергиях, которые протекают на Солнце и звездах [1,3].

Четвертая и пятая главы книги посвящены описанию результатов, полученных в рамках модифицированной потенциальной кластерной модели, для процессов радиационного захвата нейтронов и протонов тепловых и астрофизических энергий. Эти главы непосредственно демонстрирует методы применения полученных на основе фазового анализа или спектров уровней конечного ядра и характеристик его связанных состояний межкластерных потенциалов для рассмотрения радиационного захвата на некоторых легких атомных ядрах. Большинство реакций нейтронного захвата непосредственно не входят в звездные термоядерные циклы, однако многие из них участвуют в процессах первичного нуклеосинтеза, протекавшего при образовании и развитии нашей Вселенной.

Таким образом, в пяти главах рассматриваются все наиболее существенные этапы, которые необходимо выполнить для получения на основе имеющихся экспериментальных данных (σ_{exp}) некоторых промежуточных параметров – фаз рассеяния (δ_L) и построенные на их основе двухчастичные межкластерные потенциалы взаимодействия – V_0 . Все это требуется в дальнейшем для выполнения расчетов основных характеристик, например, полных сечений термоядерных процессов радиационного захвата (σ_c), протекающих на Солнце, звездах и в процессах первичного нуклеосинтеза всей нашей Вселенной.

В целом книга демонстрирует определенные, хотя и не единственные методы ядерной физики низких и сверхнизких энергий и получаемые на их основе результаты, которые используются затем для расчета характеристик термоядерных реакций при астрофизических

энергиях [12]. Показано, как находить некоторые ядерные характеристики, в частности, фазы упругого рассеяния ядерных частиц, используемые для построения межкластерных потенциалов, которые применяются в дальнейшем для выполнения астрофизических расчетов [12]. Приведены примеры проверки таких потенциалов, в том числе, в трехтельных системах, которые демонстрируют корректность их построения и возможность применения подобных потенциалов в расчетах основных характеристик термоядерных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате многочисленных экспериментальных и теоретических исследований было показано, что именно модифицированная потенциальная кластерная модель позволяет успешно объяснять многие характеристики легких атомных ядер, структура которых представляется в двух- или трехчастичных каналах [11].

Таким образом, зная методы расчета волновых функций ядра в непрерывном и дискретном спектре, которые были приведены в первой главе, можно использовать их для расчетов в модифицированной потенциальной кластерной модели некоторых важных характеристик термоядерных процессов при низких и сверхнизких энергиях [22]. Однако для выполнения реальных расчетов ядерных характеристик термоядерных реакций, например, сечений радиационного захвата, при решении уравнения Шредингера нужно еще знать потенциалы взаимодействия между легкими ядерными частицами – кластерами, которые участвуют в рассматриваемых процессах [12]. Любая модель испытывает определенные трудности в построении потенциалов взаимодействия между частицами, которые в ней рассматриваются. Поэтому здесь мы определили простые и, даже, очевидные критерии, на основе которых строятся вполне однозначные потенциалы для используемой здесь модифицированной потенциальной кластерной модели с запрещенными состояниями [12].

А именно, для построения межкластерных потенциалов процессов рассеяния обычно используются результаты фазового анализа, частично приведенные во второй главе. При невозможности выполнения фазового анализа или отсутствии его результатов в литературе потенциалы процессов рассеяния строятся на основе спектров уровней конечного ядра, т.е. учитыва-

ется наличие резонансных состояний двухкластерной системы. Используемая классификация орбитальных состояний по схемам Юнга, в том виде, в котором она рассматривается в настоящей книге и более подробно описанная в работах [12,19,180,185,186], позволяет определять число разрешенных и запрещенных состояний. Это значит, что по энергии резонанса можно однозначно фиксировать глубину парциального потенциала, позволяющего правильно описать парциальную фазу упругого рассеяния. Извлекаемая из эксперимента форма фазы упругого рассеяния, особенно в резонансной области энергий, где значения фазы резко меняются, позволяет по ширине резонанса вполне однозначно фиксировать ширину такого потенциала [12,180]. В результате параметры потенциала рассеяния, особенно, в резонансной области энергий по положению резонанса фазы или резонансного уровня конечного ядра и его ширине фиксируется полностью однозначно.

Межкластерные потенциалы связанных в ядре состояний кластеров, которые требуются для расчетов, например, электромагнитных переходов из связанного состояния ядра в состояния непрерывного спектра или наоборот, обычно строятся на основе описания ими некоторых характеристик основных или связанных возбужденных состояний ядер в кластерных каналах. Они должны, как правило, зависеть только от одной определенной схемы Юнга, т.е. быть чистыми по орбитальной симметрии [11,16,19]. Глубина таких потенциалов CC однозначно фиксируется на основе классификации $3C$ и PC и положению связанного разрешенного уровня. Ширина такого потенциала приемлемо определяется на основе описания заданных характеристик, в частности, AK основного или связанного возбужденного состояния.

Тем самым, используемые здесь методы получения формы и глубины межкластерных взаимодействий рассеяния и CC позволяют избавиться от дискретной и непрерывной неоднозначности его параметров [12,180], присущих известной оптической модели [92], и наблюдаемых в обычных подходах построения межкластерных потенциалов в непрерывном и дискретном

спектре. Впоследствии их можно использовать в любых расчетах связанных с решением различных ядерно-физических и астрофизических задач при тепловых, сверхнизких и низких энергиях [12].

Некоторые варианты таких потенциалов взаимодействия гауссова и Вудс-Саксоновского типа для систем ядерных частиц NN, N^2H , p^3H , p^3He , N^4He , N^6Li , N^7Li , N^9Be , $N^{12}C$, $N^{13}C$, $n^{14}C$, $n^{14}N$, $n^{15}N$, $n^{16}O$, $^2H^2H$, $^2H^3He$, $^2H^3H$, $^3H^3He$, $^3H^3H$, $^3He^3He$, $^2H^4He$, $^3H^4He$, $^3He^4He$, $^2H^6Li$, $^4He^4He$, $^4He^{12}C$ и некоторые другие были получены в оригинальных работах авторов из НИИЯФ МГУ и нами в Алматы. Впоследствии, они были систематизированы, перепроверены, уточнены, протестированы и приведены в следующих обзорах и книгах [12,16-20,22,26,33,41,179,180,185,186,328,395,396,397].

В некоторых случаях при построении таких межкластерных взаимодействий использовалась концепция запрещенных и разрешенных состояний в относительном движении кластеров, которая следует из классификации орбитальных состояний по схемам Юнга. Это позволило избавиться от присутствия на малых расстояниях отталкивающего кора, используемого ранее для учета эффектов антисимметризации волновых функций [18].

В третьей главе книги приведено довольно подробное рассмотрение результатов трехкластерной одноканальной модели некоторых легких атомных ядер, которое, по сути, направлено на дополнительный контроль и проверку концепции построения парных межкластерных потенциалов на основе описания фаз упругого рассеяния и характеристик связанных состояний в дискретном спектре [21,91,229]. В результате можно, по-видимому, считать, что полученные на такой основе взаимодействия могут использоваться для расчетов астрофизических S-факторов, полных сечений радиационного захвата и других ядерных характеристик термоядерных процессов на Солнце и звездах нашей Вселенной [12,180].

И, наконец, в четвертой и пятой главах данной книги приведены результаты расчетов полных сечений радиационного за-

хвата нейтронов и протонов тепловых и астрофизических энергий на некоторых легких ядрах. Расчеты полных сечений рассмотренных реакций обычно выполняются в области энергий ниже 1.0 MeV, перекрывающей 7 ÷ 9 порядков по энергии. Результаты расчетов полных сечений захвата при самых низких энергиях параметризуются, в некоторых случаях, функциями простого вида, что облегчает их дальнейшее применение в задачах прикладного характера. Эти реакции обычно входят в процессы первичного нуклеосинтеза, происходившего во Вселенной на разных стадиях ее образования, формирования и развития. А также входит в CNO Солнечный цикл или являются сопутствующими реакциями.

В заключение обратим внимание, что в настоящей книге сделана попытка продемонстрировать определенные методы ядерной физики низких и сверхнизких, т.е. астрофизических энергий, которые могут быть использованы для расчетов некоторых характеристик термоядерных реакций на Солнце и звездах. Показано, как на основе определенных вычислительных методов и избранных представлений ядерной физики можно получить ядерные межкластерные потенциалы, позволяющие решать в дальнейшем некоторые проблемы описания полных сечений некоторых термоядерных реакций, которые определяют образование, развитие, структуру и существование всей нашей Вселенной, наблюдаемой нами в настоящее время [12, 180,397].

P.S.

В квантовой механике показано, что поскольку система двух точечных частиц должна иметь единый гамильтониан, потенциалы непрерывного и дискретного спектров такой системы должны быть одинаковыми. Однако речь идет об неких общих критериях, которым должны удовлетворять потенциалы взаимодействия. В данной книге была рассмотрена ситуация, когда двухчастичные парциальные потенциалы зависят от моментов J, L, S такой системы, а поэтому потенциалы для разных моментов могут быть различны (см. п.п.1.9 гл.1).

Как будет видно из приведенной далее таблицы, в большинстве случаев переходы при радиационном захвате проходят между разными парциальными волнами с разными моментами J, L, S , которые имеют разные потенциалы. Таким образом, когда $M1$ переходы происходят между состояниями с различными значениями моментов J, L, S , как, например, при $n^7\text{Li}$, $n^{11}\text{B}$ и $p^{15}\text{N}$ захвате, потенциалы, соответствующие этим парциальным волнам, будут различны. Кроме того, в тех случаях, когда двухчастичная система имеет разные схемы Юнга для одинаковых состояний (с одинаковыми моментами J, L, S) дискретного спектра и рассеяния, такие потенциалы также будут различны [11,17,18]. Например, такая ситуация наблюдается для захвата нуклона на ядрах ^2H , ^6Li и ^{10}B .

При $M1$ переходах между одинаковыми парциальными волнами с одинаковыми схемами Юнга во всех случаях, кроме одного, можно считать, что такие переходы приводят к нулевым или стремящимся к нулю сечениям захвата и ими можно пренебречь. Такая ситуация реализуется в системах $n^{11}\text{B}$ (переходы №8 и №9) и $p^{14}\text{C}$ (первый переход под №2). Только в одном случае из всех рассмотренных в данной книге процессов существует $M1$ переход, которым нельзя пренебречь – это процесс №4 при $n^{16}\text{O}$ захвате – он целиком определяет поведение полных сечений при тепловых энергиях. Объяснить такую ситуацию, оставаясь в рамках МПКМ, можно, например, напомнив,

что для систем частиц с $A > 8$ отсутствуют полные таблицы произведений схем Юнга, которые использовались ранее для частиц с меньшей массой [137]. В результате система $n^{16}\text{O}$ может оказаться смешанной по схемам Юнга в состояниях рассеяния, как это наблюдалось для $n^2\text{H}$ захвата с аналогичным $M1$ переходом, который также играл главную роль при тепловых энергиях.

Системы кластеров, для которых рассмотрены реакции радиационного захвата и список рассмотренных EJ или MJ переходов для каждой системы.

№	Система	Переходы из состояний рассеяния $^{(2S+1)}L_J$ на основное (g.s.) или возбужденные (e.s.) состояния конечного ядра	
Гл.4			
1.	$n^2\text{H}$	M1	$1. \ ^2S_{1/2} \rightarrow \ ^2S_{1/2}$
		E1	$2. \ ^2P_{3/2} + \ ^2P_{1/2} \rightarrow \ ^2S_{1/2}$
2.	$n^6\text{Li}$	E1	$1. \ ^2S_{1/2} \rightarrow \ ^2P_{3/2}^{g.s.}$
		E1	$2. \ ^2S_{1/2} \rightarrow \ ^2P_{1/2}^{e.s.}$
3.	$n^7\text{Li}$	E1	$1.+2. \ ^3S_1 \rightarrow \ ^3P_2^{g.s.} + \ ^5S_2 \rightarrow \ ^5P_2^{g.s.}$
		E1	$4.+5. \ ^3S_1 \rightarrow \ ^3P_1^{e.s.} + \ ^5S_2 \rightarrow \ ^5P_1^{e.s.}$
		M1	$3. \ ^5P_3 \rightarrow \ ^5P_2^{g.s.}$
4.	$n^9\text{Be}$	E1	$1.+2. \ ^3S_1 \rightarrow \ ^3P_0^1 + \ ^3P_0^2$
		E1	$3. \ ^3S_1 \rightarrow \ ^3P_2^1 + \ ^3P_2^2$
		E1	$4. \ ^3D_3 \rightarrow \ ^3P_2^1 + \ ^3P_2^2$
		E1	$5. \ ^3P_0 + \ ^3P_1 + \ ^3P_2 \rightarrow \ ^3S_1^{e.s.}$
5.	$n^{12}\text{C}$	E1	$1.+2. \ ^2S_{1/2} + \ ^2D_{3/2} \rightarrow \ ^2P_{1/2}^{g.s.}$
		E1	$3. \ ^2P_{1/2} + \ ^2P_{3/2} \rightarrow \ ^2S_{1/2}^{e.s.}$
		E1	$4. \ ^2S_{1/2} \rightarrow \ ^2P_{3/2}^{e.s.}$

		E1	$5. {}^2 P_{3/2} \rightarrow {}^2 D_{5/2}^{g.s.}$
6.	$n^{13}\text{C}$	E1	$1. {}^3 S_1 + {}^3 D_1 \rightarrow {}^3 P_0^{g.s.}$
		E1	$2. {}^3 P_2 \rightarrow {}^3 S_1^{e.s.}$
7.	$n^{14}\text{C}$	E1	$1. {}^2 P_{1/2} + {}^2 P_{3/2} \rightarrow {}^2 S_{1/2}^{g.s.}$
8.	$n^{14}\text{N}$	E1	$2. {}^2 S_{1/2} \rightarrow {}^2 P_{1/2}^{g.s.} + {}^4 S_{3/2} \rightarrow {}^4 P_{1/2}^{g.s.}$
		E1	$3. {}^2 S_{1/2} \rightarrow {}^2 P_{1/2}^{e.s.} + {}^4 S_{3/2} \rightarrow {}^4 P_{1/2}^{e.s.}$
		E1	$4. {}^2 P_{1/2} + {}^2 P_{3/2} \rightarrow {}^2 S_{1/2}^{e.s.}$
9.	$n^{15}\text{N}$	E1	$1. {}^3 P_2 \rightarrow {}^3 D_2^{g.s.}$
		E1	$2. {}^3 P_1 \rightarrow {}^3 D_2^{g.s.} + {}^1 P_1 \rightarrow {}^1 D_2^{g.s.}$
		E1	$3. {}^3 P_0 \rightarrow {}^3 S_1^{e.s.} + {}^3 P_2 \rightarrow {}^3 S_1^{e.s.} + {}^3 P_1 \rightarrow {}^3 S_1^{e.s.} +$ $+ {}^1 P_1 \rightarrow {}^1 S_0^{e.s.} + {}^3 P_2 \rightarrow {}^3 D_3^{e.s.}$
10.	$n^{16}\text{O}$	E1	$1. {}^2 P_{3/2} \rightarrow {}^2 D_{5/2}^{g.s.}$
		E1	$2. {}^2 P_{1/2} + {}^2 P_{3/2} \rightarrow {}^2 S_{1/2}^{e.s.}$
		M1	$3. {}^2 D_{3/2} \rightarrow {}^2 D_{5/2}^{g.s.}$
		M1	$4. {}^2 S_{1/2} \rightarrow {}^2 S_{1/2}^{e.s.} \neq 0$
Гл.5			
11.	$n^{10}\text{B}$	E1	$1. {}^6 S_{5/2} \rightarrow {}^6 P_{3/2}^{g.s.}$
		E1	$2. {}^6 S_{5/2} \rightarrow {}^6 P_{5/2}^{e.s.} + {}^8 S_{7/2} \rightarrow {}^8 P_{5/2}^{e.s.}$
		E1	$3. {}^6 S_{5/2} \rightarrow {}^6 P_{3/2}^{e.s.}$
		E1	$4. {}^6 S_{5/2} \rightarrow {}^6 P_{7/2}^{e.s.} + {}^8 S_{7/2} \rightarrow {}^8 P_{7/2}^{e.s.}$
		E1	$5. {}^6 S_{5/2} \rightarrow {}^6 P_{5/2}^{e.s.} + {}^8 S_{7/2} \rightarrow {}^8 P_{5/2}^{e.s.}$
		M1	$6. {}^6 P_{5/2} \rightarrow {}^6 P_{3/2}^{g.s.}$
		M1	$7. {}^6 P_{5/2} \rightarrow {}^6 P_{5/2}^{e.s.} + {}^8 P_{5/2} \rightarrow {}^8 P_{5/2}^{e.s.}$
		M1	$8. {}^6 P_{5/2} \rightarrow {}^6 P_{3/2}^{e.s.}$
		M1	$9. {}^6 P_{5/2} \rightarrow {}^6 P_{7/2}^{e.s.} + {}^8 P_{5/2} \rightarrow {}^8 P_{7/2}^{e.s.}$
		M1	$10. {}^6 P_{5/2} \rightarrow {}^6 P_{5/2}^{e.s.} + {}^8 P_{5/2} \rightarrow {}^8 P_{5/2}^{e.s.}$

12.	$n^{11}\text{B}$	E1	1. ${}^3S_1 \rightarrow {}^3P_1^{g.s.}$
		E1	2. ${}^3D_3 \rightarrow {}^3P_2^{e.s.}$
		E1	3. ${}^3P_2 \rightarrow {}^3S_1^{e.s.}$
		E1	4. ${}^3S_1 \rightarrow {}^3P_2^{e.s.}$
		E1	5. ${}^3S_1 \rightarrow {}^3P_0^{e.s.}$
		E1	6. ${}^3P_2 \rightarrow {}^3D_2^{e.s.}$
		M1	7. ${}^3P_2 \rightarrow {}^3P_1^{g.s.}$
		M1	8. ${}^3P_2 \rightarrow {}^3P_2^{e.s.} \rightarrow 0$
		M1	9. ${}^3S_1 \rightarrow {}^3S_1^{e.s.} \rightarrow 0$
		M1	10. ${}^3D_3 \rightarrow {}^3D_2^{e.s.}$
13.	$p^{10}\text{B}$	E1	1. ${}^6S_{5/2} \rightarrow {}^6P_{3/2}^{g.s.}$
		E1	2. ${}^6S_{5/2} \rightarrow {}^6P_{3/2}^{e.s.}$ (переход не рассматривался)
		E1	3.+4. ${}^6S_{5/2} \rightarrow {}^6P_{5/2}^{e.s.} + {}^8S_{7/2} \rightarrow {}^8P_{5/2}^{e.s.}$ (не рассматривался)
		E1	5. ${}^6S_{5/2} \rightarrow {}^6P_{7/2}^{e.s.} + {}^8S_{7/2} \rightarrow {}^8P_{7/2}^{e.s.}$ (не рассматривался)
		E1	6. ${}^6P_{3/2} + {}^6P_{5/2} + {}^6P_{7/2} \rightarrow {}^6S_{5/2}^{e.s.}$ (не рассматривался)
		M1	7. ${}^6P_{3/2} + {}^6P_{5/2} \rightarrow {}^6P_{3/2}^{g.s.}$
14.	$p^{11}\text{B}$	E1	1. ${}^3S_1 \rightarrow {}^3P_0^{g.s.}$
		E2	2. ${}^3P_2 \rightarrow {}^3P_0^{g.s.}$
		E1	3. ${}^3S_1 \rightarrow {}^3P_2^{e.s.}$
		E2	4. ${}^3P_2 \rightarrow {}^3P_2^{e.s.}$
15.	$p^{13}\text{C}$	E1	${}^3S_1 \rightarrow {}^3P_1^{g.s.}$
16.	$p^{14}\text{C}$	E1	1. ${}^2S_{1/2} \rightarrow {}^2P_{1/2}^{g.s.}$
		M1	2. ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2P_{1/2}^{g.s.} \rightarrow 0$ 2. ${}^2P_{3/2} \rightarrow {}^2P_{1/2}^{g.s.}$ (переход не рассматривался из-за малого вклада в суммарные сечения)

		E1	3. ${}^2D_{3/2} \rightarrow {}^2P_{1/2}^{g.s.}$ (переход не рассматривался из-за малого вклада в суммарные сечения)
17.	$p^{15}\text{N}$	E1	1. ${}^3S_1^1 \rightarrow {}^3P_0^{g.s.} + {}^3S_1^2 \rightarrow {}^3P_0^{g.s.}$
		M1	2. ${}^3P_1 \rightarrow {}^3P_0^{g.s.}$

И в заключение еще раз отметим, что данная книга является существенно дополненным и переработанным изданием книги автора «Избранные методы ядерной астрофизики», которая издана издательством «LAP» в 2013г.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает большую признательность проф. Страковскому И.И. (Университет Дж. Вашингтона, Вашингтон, DC, США), проф. Мухамеджанову А.М (Техасский A&M Университет, Техас, США), проф. Блохинцеву Л.Д., проф. Ишханову Б.С. и проф. Неудачину В.Г. (НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, РФ), проф. Багрову В.Г. (ТГУ, Томск, РФ), проф. Чечину Л.М. (АФИФ, Алматы, РК), проф. Дуйсебаеву А.Д. и проф. Буртебаеву Н.Т. (ИЯФ, Алматы, РК), проф. Данаеву Н.Т. (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, РК) и проф. Ярмухамедову Р. (ИЯФ, Ташкент, Узбекистан) за ценные обсуждения отдельных вопросов, рассмотренных в данной книге.

Следует особо отметить содействие данной работе со стороны научных консультантов: академика НАН РК, проф. Боос Э.Г. (ФТИ, Алматы, РК), академика НАН РК, проф. Омарова Т.Б. (АФИФ, Алматы, РК) и консультационную помощь проф. Бурковой Н.А. (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, РК) и проф. Узиков Ю.Н. (ОИЯИ, Дубна, РФ), которые сделали ряд полезных замечаний.

Выполнение данной работы частично поддерживалось грантами "Программы фундаментальных исследований" Министерства Образования и Науки РК через Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова "НЦКИТ" НКА РК. В связи с этим, выражаю искреннюю благодарность президенту "НЦКИТ" НКА РК, член-корр. НАН РК, проф. Жантаеву Ж.Ш. и директору Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова (АФИФ) PhD Омарову Ч.Т. за постоянное содействие и поддержку всей тематики по Ядерной астрофизике.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ



Дубовиченко Сергей Борисович -

доктор физико-математических наук по двум специальностям: физика атомного ядра и элементарных частиц и математическое моделирование, численные методы и комплексы программ в Республике Казахстан (РК) и Российской Федерации (РФ), профессор РК;

академик Европейской Академии Естественных Наук (EANS EU), академик Российской Академии Естествознания (РАЕ РФ), академик Международной Академии Информатизации (МАИИ РК), академик Нью-Йоркской Академии наук (NYAS US);

член Американского физического общества (US), член Европейского физического общества (EU), лауреат Европейской "Золотой Медали" и ордена Почетный крест "За заслуги" (EU), лауреат премии международного фонда Сороса (US), лауреат премии ЛКСМ Каз.ССР (Former USSR);

представитель Европейской научно-промышленной Палаты в Казахстане (EU), руководитель Казахстанского отделения Европейской Академии Естественных Наук по физике и астрофизике;

зав. сектором «Ядерная астрофизика» Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова Национального Центра Космических Исследований и Технологий (НЦКИТ) Национального Космического Агентства (НКА) РК.

E-mail: dubovichenko@mail.ru , sergey@dubovichenko.ru

Web-site: www.dubovichenko.ru

Астрофизический институт - Обсерватория 23, Каменское плато, 050020, Алматы, Республика Казахстан, www.aphi.kz

Astrophysical Institute - Observatory 23, Kamenskoe plato,

050020, Almaty, Republic of Kazakhstan, www.aphi.kz

ЛИТЕРАТУРА

1. Капитонов И.М., Ишханов Б.С., Тутынь И.А. Нуклеосинтез во Вселенной. М.: Либроком. 2009; Kapitonov I.M., Ishkhanov B.S., Tutyn I.A. Nucleosynthesis in the Universe. Moscow: Librokom. 2009. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuclsynt/index.html> (in Russian).
2. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Орлин В.Н. Модели атомных ядер. М.: МГУ. 2009; Kapitonov I.M., Ishkhanov B.S., Orlin V.N. Models of atomic nuclei. Moscow: Moscow state university. 2009. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nucmod/nucmod1.htm> (in Russian).
3. Ядерная астрофизика / Под. ред. Ч. Барнса, Д. Клейтона, Д. Шрама. М.: Мир. 1986. 519с.; Barnes C.A., Clayton, D.D., Schramm D.N. Essays in Nuclear Astrophysics. Presented to William A. Fowler. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 1982. 562p.
4. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва. М.: ЛКИ. 2008. 552с.; Gorbunov D.S., Rubakov V.A. Introduction to theory of early Universe. Theory of hot Big Bang. Moscow: LKI. 2008. 552p. (in Russian).
5. Бояркин О.М., Бояркина Г.Г. Квантовая электродинамика и стандартная модель М.: Либроком. 2013. 440с.; Boyarkin O.M., Boyarkina G.G. Quantum electrodynamics and the standard model M.: Librokom. 2013. 440p.; Бояркин О.М., Бояркина Г.Г. От электрона до бозона Хиггса. Квантовая теория свободных полей. М.: Стереотип. 2014. 296с.; Boyarkin O.M., Boyarkina G.G. From the electron to the Higgs boson. Quantum theory of free fields. M. Stereotype. 2014. 296p.; Емельянов В.М. Стандартная модель и ее расширения. М.: Физ.-мат. лит. 2007. 584с.; Emelyanov V.M. The standard model and its extensions. M. Sci. Lita. 2007. 584p.; <http://www.astronet.ru/db/msg/1199352/experiments/exper2.html>.
6. Вильдермут Л., Тан Я. Единая теория ядра. М.: Мир. 1980. 502с.; Wildermut K., Tang Y.C. A unified theory of the nucleus. Branschweig: Vieweg. 1977. 498p.
7. Mertelmeir T., Hofmann H.M. Consistent cluster model description of the electromagnetic properties of lithium and beryllium nuclei // Nucl.

Phys. 1986. V.A459. P.387-416.

8. Dohet-Eraly J. Microscopic cluster model of elastic scattering and bremsstrahlung of light nuclei. Université Libre De Bruxelles. 2013. 120p.; http://theses.ulb.ac.be/ETD-db/collection/available/ULBetd-09122013-100019/unrestricted/these_Jeremy_Dohet-Eraly.pdf; Dohet-Eraly J. and Baye D. Microscopic cluster model of $\alpha+n$, $\alpha+p$, $\alpha+He3$, and $\alpha+\alpha$ elastic scattering from a realistic effective nuclear interaction // Phys. Rev. 2011. V.C84. P.014604(1-13).

9. Descouvemont P., Dufour M. Microscopic cluster model // In: Clusters in Nuclei. V.2. Editor C. Beck. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 2012. 353p.; Descouvemont P. Microscopic cluster models. I. // http://www.nucleartheory.net/Talent_6_Course/TALENT_lectures/pd_microscopic_1.pdf

10. Нестеров А.В. и др. Трехкластерное описание свойств легких ядер // ЭЧАЯ 2010. Т.41. С.1337-1424; Nesterov A.V. et al. Three clusters description of light nuclei properties // Phys. Part. Nucl. 2010. V.41. №5. P.716-765; Nesterov A.V., Vasilevsky V.S., Kovalenko T.P. Spectra of nuclei ${}^9\text{Be}$ and ${}^9\text{B}$ in a three-cluster microscopic model // Ukr. J. Phys. 2013. V.58. №7. P.628-635.

11. Немец О.Ф. и др. Нуклонные ассоциации в атомных ядрах и ядерные реакции многонуклонных передач. Киев: Наукова Думка. 1988. 488с.; Nemets O.F., Neudatchin V.G., Rudchik A.T., Smirnov Y.F., Tchuvil'sky Yu.M. Nucleon association in atomic nuclei and the nuclear reactions of the many nucleons transfers. Kiev: Naukova dumka. 1988. 488p. (in Russian).

12. Дубовиченко С.Б. Термоядерные процессы Вселенной. Изд. второе, исправленное и дополненное. Серия «Казахстанские космические исследования». Т.7. Алматы: А-три, 2011. 402с.; Dubovichenko S.B. Thermonuclear processes of the Universe. Second edition, revised and updated. Series "Kazakhstan space research" V.7. Almaty: A-tri. 2011. 402p.; arXiv:1012.0877 [nucl-th]. (in Russian).

13. Angulo C. et al. A compilation of charged-particle induced thermonuclear reaction rates // Nucl. Phys. 1999. V.A656. P.3-183.

14. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М.: Наука. 1984. 384с.; Shklovskii I.S. Stars: birth, life and death. Moscow:

Наука. 1984. 384p. (in Russian).

15. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука. 1975. 735с.; Zel'dovich Ya.B., Novikov I.D. Structure and Evolution of the Universe. Moscow: Nauka. 1975. 735p. (in Russian).

16. Дубовиченко С.Б., Узиков Ю.Н. Астрофизические S факторы реакций с легкими ядрами // ЭЧАЯ 2011. Т.42. С.478-577; Dubovichenko S.B., Uzikov Yu.N. Astrophysical S -factors of reactions with light nuclei // Phys. Part. Nucl. 2011. V.42. P.251-301.

17. Неудачин В.Г., Сахарук А.А., Смирнов Ю.Ф. Обобщенное потенциальное описание взаимодействия легчайших кластеров - рассеяние и фотоядерные реакции // ЭЧАЯ 1992. Т.23. С.480-541; Neudatchin V.G., Sakharuk A.A., Smirnov Yu.F. Generalized potential description of interaction of the lightest cluster scattering and photonuclear reactions // Sov. J. Part. Nucl. 1992. V.23. P.210-271; Неудачин В. Г., Стружко Б. Г., Лебедев В. М. Супермультиплетная потенциальная модель взаимодействия легчайших кластеров и единое описание различных ядерных реакций // ЭЧАЯ 2005. Т.36. С.890-941; Neudatchin V.G., Struzhko B.G., Lebedev V.M. Supermultiplet potential model of the interaction of light clusters and unified description of various nuclear reactions // Phys. Part. Nucl. 2005. V.36. P.468-519.

18. Neudatchin V.G. et al. Generalized potential model description of mutual scattering of the lightest p^2H , $^2H^3He$ nuclei and the corresponding photonuclear reactions // Phys. Rev. 1992. V.C45. P.1512-1527.

19. Дубовиченко С.Б. Свойства легких атомных ядер в потенциальной кластерной модели. Второе издание. Алматы: Данекер. 2004. 248с.; Dubovichenko S.B. Properties of the light nuclei in potential cluster model. Almaty: Daneker. 2004. 247p.; arXiv:1006.4944 [nucl-th]. (in Russian).

20. Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S -factors of proton radiative capture in thermonuclear reactions in the stars and the universe // Book: The Big Bang: Theory, Assumptions and Problems. New-York. Nova Science Publishers. 2011. P.1-60; https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=21109.

21. Дубовиченко С.Б. Трехтельная модель ядра ^{11}B // ЖЭТФ 2011.

T.140. С.256-262; Dubovichenko S.B. A three body model of the ^{11}B nucleus // Jour. Exper. Theor. Phys. 2011. V.113. P.221–226.

22. Дубовиченко С.Б. Методы расчета ядерных характеристик. Алматы: Комплекс. 2006. 311с.; Dubovichenko S.B. Calculation method of the nuclear characteristics. Almaty: Complex. 2006. 311p.; arXiv:1006.4947 [nucl-th]. (in Russian).

23. Блат Дж., Вайскопф В. Теоретическая ядерная физика. М.: ИЛ. 1954. 658с.; Blatt J.M., Weisskopf V.F. Theoretical nuclear physics. New-York-London. John Wiley. 1952. 864p.

24. Брейт Г. Теория резонансных ядерных реакций. М.: ИЛ. 1961. 463с.; Breit G. Theory of resonance reactions and allied topics. Berlin-Gottingen-Heidelberg: Springer-Verlag. 1959. 398p.

25. Престон М. Физика ядра. М.: Мир. 1964. 574с.; Preston M.A. Physics of the nucleus. Palo Alto-London: Addison-Wesley Publ. Co. Inc. 1962. 661p.

26. Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Нуклонные ассоциации в легких ядрах. М.: Наука. 1969. 414с.; Neudatchin V.G., Smirnov Yu.F. Nucleon associations in light nuclei. Moscow: Nauka. 1969. 414p. (in Russian).

27. Бор О., Моттelson Б. Структура атомного ядра. Том 1. М.: Мир. 1971. 456с.; Bohr A., Mottelson B.R. Nuclear structure Vol.I. Single particle motion. Singapore: World Scientific Publ. Co. Ltd. 1998. 471p.

28. Дубовиченко С.Б. Свойства легких атомных ядер в потенциальной кластерной модели. Алматы: Каз.ГУ. 1998. 332с. Деп. Каз. Гос. НИИНТИ 1998. №8172 Ка98.; Dubovichenko S.B. Properties of the light nuclei in potential cluster model. Almaty: KazSU. 332p. KazINTI. 1998. №8172 Ка98. (in Russian).

29. Neudatchin V.G. et al. A microscopic substantiated optical potential for αt system including nucleon exchange // Lett. Nuovo Cim. 1972. V.5. P.834-838.

30. Neudatchin V.G. et al. A microscopically substantiated local optical potential for $\alpha\alpha$ scattering // Phys. Lett. 1971. V.B34. P.581-583.

31. Kurdyumov I.V. et al. The high energy limit for the αd form factors in the ^6Li nuclei // Phys. Lett. 1972. V.40B. P.607-610.

32. Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Запрещенные состояния в системах двух и трех составных частиц // Современные вопросы оптики и

атомной физики. Киев. Киевский гос. ун-тет. 1974. С.225-241. (in Russian).

33. Кукулин В.И., Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Взаимодействие составных частиц и принцип Паули // ЭЧАЯ 1979. Т.10. С.1236-1255; Kukulin V.I, Neudatchin V.G., Smirnov Yu.F. Composite particle interaction relevant to the Pauli principle // Sov. J. Part. Nucl. 1979. V.10. P.1236-1255.

34. Дубовиченко С.Б., Кукулин В.И., Сазонов П.Б. Структура ядер ${}^{6,7}\text{Li}$ в кластерной модели на основе потенциалов с запрещенными состояниями // Теория квантовых систем с сильным взаимодействием. Калинин: КГУ. 1983. С.65-79; Dubovichenko S.B., Kukulin V.I., Sazonov A.A. Structure of the ${}^{6,7}\text{Li}$ nuclei in cluster model based on potentials with forbidden states // Theory of quantum systems with strong interactions. Kalinin: KSU (USSR). 1983. P.65-79.

35. Дубовиченко С.Б., Мажитов М. Вариационные расчеты ядер ${}^{6,7}\text{Li}$ в кластерных моделях для потенциалов с запрещенными состояниями // Изв. АН Каз.ССР сер. физ.-мат. 1987. №4. С.55-64; Dubovichenko S.B., Mazhitov M. Variation calculations of the ${}^{6,7}\text{Li}$ nuclei in cluster models with forbidden states // Bull. Acad. Sci. KazSSR ser. phys.-math. 1987. №4. P.55-64.

36. Дубовиченко С.Б., Мажитов М. Неортогональный вариационный базис в задаче двух тел // Алматы: КазГУ. 1987. С.1729-1735. Деп. Каз. Гос. НИИТИ 1987. №.1665; Dubovichenko S.B., Mazhitov M. Non orthogonal variational basis in two-bode tasks // Almaty: KazSU. P.1729-1735. Kaz. State NIINTI 1987. №1665.

37. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Кахраманов А.В. Потенциальное описание кластерных каналов лития // ЯФ 1993. Т.56. С.87-98; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Potential description of cluster channels of lithium nuclei // Phys. Atom. Nucl. 1993. V.56. P.195-202.

38. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Кахраманов А.В. Кулоновские формфакторы ядер лития в кластерной модели на основе потенциалов с запрещенными состояниями // ЯФ 1994. Т.57. С.784-791; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Calculation of coulomb form factors of lithium nuclei in a cluster model based on potentials with forbidden states // Phys. Atom. Nucl. 1994. V.57. P.733-740.

39. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Кахраманов А.В. Фотопроцессы на ядрах ${}^7\text{Li}$ и ${}^7\text{Be}$ в кластерной модели для потенциалов с запрещенными состояниями // ЯФ 1995. Т.58. С.635-641; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Photonuclear processes on ${}^7\text{Li}$ and ${}^7\text{Be}$ in the cluster model for potentials with forbidden states // Phys. Atom. Nucl. 1995. V.58. P.579-585.

40. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Кахраманов А.В. Фотопроцессы на ядре ${}^6\text{Li}$ в кластерных моделях для потенциалов с запрещенными состояниями // ЯФ 1995. Т.58. С.852-859; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Description of photonuclear processes on the ${}^6\text{Li}$ nucleus in cluster models based on potentials with forbidden states // Phys. Atom. Nucl. 1995. V.58. P.788-795.

41. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Кахраманов А.В. Электромагнитные эффекты в легких ядрах на основе потенциальной кластерной модели // ЭЧАЯ 1997. Т.28. С.1529-1594; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Electromagnetic effects in light nuclei and the cluster potential model // Phys. Part. Nucl. 1997. V.28. №6. P.615-641.

42. Искра В. и др. Интерференция различных потенциальных амплитуд во взаимном рассеянии легчайших кластеров // УФЖ 1988. Т.32. С.1141-1147.

43. Искра В. и др. Возможности потенциального описания взаимного рассеяния легчайших кластеров // ЯФ 1988. Т.48. С.1674-1683.

44. Неудачин В.Г., Померанцев В.Н., Сахарук А.А. Потенциальное описание фотоядерных реакций ${}^3\text{He}\gamma \rightarrow p{}^2\text{H}$ и ${}^3\text{He}{}^2\text{H} \rightarrow {}^5\text{Li}\gamma$ // ЯФ 1990. Т.52. С.738-744.

45. Кукулин В.И. и др. Обобщенное потенциальное описание взаимного рассеяния легчайших кластеров на примере систем $p{}^2\text{H}$ и ${}^2\text{H}{}^3\text{He}$ // ЯФ 1990. Т.52. С.402-411.

46. Дубовиченко С.Б. и др. Обобщенное потенциальное описание взаимодействия легчайших ядер $p{}^3\text{H}$ и $p{}^3\text{He}$ // Изв. АН СССР сер. физ. 1990. Т.54. С.911-916; Dubovichenko S.B. et al. Generalized potential description of the interaction of the lightest nuclei $p{}^3\text{H}$ and $p{}^3\text{He}$ // Bull. Acad. Sci. SSSR. ser. phys. 1990. V.54. P.911-916.

47. Neudatchin V.G., Sakharuk A.A., Dubovichenko S.B. Photodisintegration of ${}^4\text{He}$ and supermultiplet potential model of cluster-cluster interac-

tion // *Few Body Sys.* 1995. V.18. P.159-172.

48. Neudatchin V.G. et al. The generalized potential model description of $p^2\text{H}$ and $^2\text{H}^3\text{He}$ scattering // *Phys. Lett.* 1991. V.B255. P.482-486.

49. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Кахраманов А.В. Потенциальное описание процессов упругого Nd , dd , $\text{N}\alpha$ и $\text{d}\tau$ рассеяния // *ЯФ* 1990. Т.51. С.1541-1550; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Potential description of elastic N^2H , $^2\text{H}^2\text{H}$, N^4He , and $^2\text{H}^3\text{H}$ scattering // *Sov. J. Nucl. Phys. USSR* 1990. V.51. P.971-977.

50. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Кахраманов А.В. Потенциальное описание упругого Nt и $\text{N}\tau$ рассеяния // *ЯФ* 1993. Т.56. С.45-56; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Potential description of elastic N^3H and N^3He scattering // *Phys. Atom. Nucl.* 1993. V.56. P.447-454.

51. Дубовиченко С.Б. Фотопроцессы в N^2H и $^2\text{H}^3\text{He}$ системах на основе кластерных моделей для потенциалов с запрещенными состояниями // *ЯФ* 1995. Т.58. С.1253-1259; Dubovichenko S.B. Analysis of photonuclear processes in the N^2H and $^2\text{H}^3\text{He}$ systems on the basis of cluster models for potentials with forbidden states // *Phys. Atom. Nucl.* 1995. V.58. P.1174-1180.

52. Дубовиченко С.Б. Фотопроцессы в dd канале ядра ^4He на основе потенциальной кластерной модели // *ЯФ* 1995. Т.58. С.1973-1979; Dubovichenko S.B. Description of photoprocesses in the dd channel of the ^4He nucleus in potential cluster models // *Phys. Atom. Nucl.* 1995. V.58. P.1866-1872.

53. Дубовиченко С.Б. Фотопроцессы в p^3H и n^3He каналах ядра ^4He на основе потенциальных кластерных моделей // *ЯФ* 1995. Т.58. С.1377-1384; Dubovichenko S.B. Photonuclear processes in the channels p^3H and n^3He of the ^4He nucleus in potential cluster models // *Phys. Atom. Nucl.* 1995. V.58. P.1295-1302.

54. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Кахраманов А.В., Сахарук А.А. Потенциальное описание упругого N^6Li и αt рассеяния // *ЯФ* 1993. Т.56. С.90-106; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Sakharuk A.A. Potential description of n^6Li and $^3\text{H}^4\text{He}$ elastic-scattering // *Phys. Atom. Nucl.* 1993. V.56. P.1044-1053.

55. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Кахраманов А.В. Потенциальное

описание упругого $\alpha\alpha$, ${}^2\text{H}{}^6\text{Li}$ и $\text{N}{}^7\text{Li}$ рассеяния // ЯФ 1992. Т.55. С.2918-2926; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Potential description of elastic $\alpha\alpha$, ${}^2\text{H}{}^6\text{Li}$, and $\text{N}{}^7\text{Li}$ scattering // Sov. J. Nucl. Phys. 1992. V.55. P.1632-1636.

56. Дубовиченко С.Б. Фотопроцессы в ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ канале ядра ${}^{16}\text{O}$ на основе потенциальной кластерной модели // ЯФ 1996. Т.59. С.447-453; Dubovichenko S.B. Photonuclear processes in the ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ channel of the ${}^{16}\text{O}$ nucleus in potential cluster models // Phys. Atom. Nucl. 1996. V.59. P.421-427.

57. Дубовиченко С.Б. Фоторазвал ядра ${}^7\text{Li}$ в $\text{n}{}^6\text{Li}$ канал в потенциальной кластерной модели с запрещенными состояниями // ЯФ 1997. Т.60. С.254-258; Dubovichenko S.B. Photodisintegration of the ${}^7\text{Li}$ nucleus through the $\text{n}{}^6\text{Li}$ channel in the potential cluster model involving forbidden states // Phys. Atom. Nucl. 1997. V.60. P.195-199.

58. Дубовиченко С.Б. Каналы легких атомных ядер в потенциальных кластерных моделях // Вестник Каз.АТСО. Алматы. 2006. №1. С.75-109; Dubovichenko S.B. Channel of the light nuclei in potentials cluster models // Bull. Kaz.ATSO. Almaty. Kazakhstan. 2006. №1. P.75-109.

59. Frick R. et al. Strong tensor term in the optical potential for 20 MeV // Phys. Rev. Lett. 1980. V.44. P.14-16.

60. Nishioka H., Tostevin J.A., Johnson R.C. Deformation effects in aligned ${}^6\text{Li}$ scattering // Phys. Lett. 1983. V.124B. P.17-20.

61. Merchant A.C., Rowley N. Alpha deuteron cluster model of ${}^6\text{Li}$ including tensor forces // Phys. Lett. 1985. V.B150. P.35-40.

62. Kukulín V.I. et al. Detailed study of the cluster structure of light nuclei in a three body model. I. Ground state of ${}^6\text{Li}$ // Nucl. Phys. 1984. V.A417. P.128-156.

63. Kukulín V.I. et al. Detailed study of the cluster structure of light nuclei in a three body model. II. The spectrum of low lying of nuclei with $A=6$ // Nucl. Phys. 1986. V.A453. P.365-388.

64. Kukulín V.I. et al. Detailed study of the cluster structure of light nuclei in a three body model. III. Electromagnetic structure of ${}^6\text{Li}$ // Nucl. Phys. 1990. V.A517. P.221-263.

65. Lehman D.R., Parke W.C. Shell structure of the $A=6$ ground states

from three body dynamics // Phys. Rev. 1983. V.C28. P.364-382.

66. Lehman D.R., Parke W.C. A=6 structure from three body dynamics // Phys. Rev. Lett. 1983. V.50. P.98-101.

67. Lehman D.R. Excluded bound state in the $S_{1/2}$ $N^4\text{He}$ interaction and the three body binding energies of ^6He and ^6Li // Phys. Rev. 1982. V.C25. P.3146-3154.

68. Дубовиченко С.Б. Тензорные $^2\text{H}^4\text{He}$ взаимодействия в потенциальной кластерной модели с запрещенными состояниями // ЯФ 1998. Т.61. С.210-217; Dubovichenko S.B. Tensor $^2\text{H}^4\text{He}$ interactions in the potential cluster model involving forbidden states // Phys. Atom. Nucl. 1998. V.61. P.162-168.

69. Kukulín V.I., Pomerantsev V.N., Cooper S.G., Dubovichenko S.B. Improved $^2\text{H}^4\text{He}$ potentials by inversion: The tensor force and validity of the double folding model // Phys. Rev. 1998. V.C57. P.2462-2473.

70. Neudatchin V.G., Obukhovskiy I.T., Smirnov Yu.F. A nonrelativistic potential model with forbidden state for the NN interaction at small distances // Phys. Lett. 1973. V.B43. P.13-17.

71. Neudatchin V.G. et al. Attractive potential with forbidden states for the NN interaction // Phys. Rev. 1975. V.C11. P.128-135.

72. Дубовиченко С.Б., Жусупов М.А. Описание NN взаимодействий потенциалом с запрещенными состояниями // Изв. АН КазССР сер. физ.-мат. 1982. №6. С.34-39; Dubovichenko S.B., Zhusupov M.A. Description of the NN interactions by potential with forbidden states // Bull. Acad. Sci. KazSSR ser. phys.-math. 1982. №6. P.34-39.

73. Kukulín V.I., et al. The NN potential with forbidden state suggested from a six-quark model with one-pion exchange // Phys. Lett. 1984. V.B135. P.20-27.

74. Дубовиченко С.Б. Глубокий экспоненциальный потенциал NN взаимодействия // ЯФ 1997. Т.60. С.704-706; Dubovichenko S.B. Deep exponential potential of nucleon-nucleon interaction // Phys. Atom. Nucl. 1997. V.60. P.621-622.

75. Дубовиченко С.Б. Формфакторы дейтрона для Нимегенских потенциалов // ЯФ 2000. Т.63. С.804-808; Dubovichenko S.B. Deuteron form factors for the Nijmegen potentials // Phys. Atom. Nucl. 2000. V.63. P.734-738. Дубовиченко С.Б., Страковский И.И. Простые локальные

NN потенциалы с запрещенными состояниями и поляризация в ed рассеянии // ЯФ 2000. Т.63. С.646-651; Dubovichenko S.B., Strakovsky I.I. Simple local NN potentials involving forbidden states and polarization in ed scattering // Phys. Atom. Nucl. 2000. V.63. P.582-587.

76. Strakovsky I.I., Dubovichenko S.B. Electron deuteron elastic scattering in a simple NN potential with excluded spurious states: non-relativistic calculations // Bull. Amer. Phys. Soc. 1999. V.44. P.731.

77. Дубовиченко С.Б. Альтернативный метод решения обобщенной матричной задачи на собственные значения // Изв. НАН РК сер. физ.-мат. 2007. №4. С.52-55; Dubovichenko S.B. An alternative method for solving generalized matrix eigenvalue problem // Bull. Nat. Acad. Sci. Rep. Kazakhstan. ser. phys.-math. 2007. №4. P.52-55.

78. Дубовиченко С.Б. Метод невязок для решения задачи на собственные значения для системы дифференциальных уравнений второго порядка // Изв. НАН РК сер. физ.-мат. 2007. №4. С.49-51; Dubovichenko S.B. The method of discrepancy for the solution of the eigenvalue problem for a system of second order differential equations // Bull. Nat. Acad. Sci. Rep. Kazakhstan. ser. phys.-math. 2007. №4. P.49-51.

79. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Физ.-мат. лит. 1976. 575с.; Kamke E. Differentialgleichungen: Lösungsmethoden und Lösungen. I. Leipzig: Gewöhnliche Differentialgleichungen. B.G. Teubner. 1977. 575p.

80. Абрамовиц И.Г. и др. Справочная математическая библиотека. Математический анализ. Дифференцирование и интегрирование. М.: Физ.-мат. лит. 1961. 350с.; Abramowitz I.G. Supplemental math library. Mathematical analysis. Differentiation and integration. Moscow: Fiz.-Math. Lit. 1961. 350p. (in Russian).

81. Копченова И.В., Марон И.А. Вычислительная математика в примерах и задачах. М.: Физ.-мат. лит. 1972. 366с.; Kopchenova I.V., Maron I.A. Computational Mathematics in the examples and tasks. Moscow: Fiz.-Math. Lit. 1972. 399p. (in Russian).

82. Маделунг Э. Математический аппарат физики. М.: Физ.-мат. лит. 1968. 618с.; Madelung E. Die mathematischen hilfsmittel des physikers. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 1957. 618p.

83. Троицкий В.А. Инженерные расчеты на ЭВМ. Л.: Машино-

строение. 1979. 287с.; Troizkii V.A. Engineering calculations on a computer. Leningrad: Mechanical Engineering. 1979. 287p. (in Russian).

84. Джеффрис Г., Свирлс Б. Методы математической физики. М.: Мир. 1970. 350с.; Jeffres H., Swirles B. Methods of mathematical physics. Cambridge: Cam. Univ. Press. 1966. 350p.

85. Бабич В.М., и др. Справочная математическая библиотека. Лнейные уравнения математической физики. М.: Наука. 1964. 367с.; Babich V.M. et al. Supplemental mathematical library. Linear equations of mathematical physics. Moscow: Nauka. 1964. 367p. (in Russian).

86. Мэтьюз Дж., Уокер Р. Математические методы физики. М.: Атомиздат. 1972. 398с.; Mathews J. Walker R. Mathematical method of physics. New-York: W.A. Benjamin Inc. 1964. 498p.

87. Загуский В.Л. Справочник по численным методам решения уравнений. М.: Физ.-мат. лит. 1960. 215с.; Zaguskii V.L. Guide on numerical methods of solution of equations. Moscow: Fiz.-Mat. Lit. 1960. 215p. (in Russian).

88. Мелентьев П.В. Приближенные вычисления. М.: Физ. мат. лит. 1962. 387с.; Melent'ev P.V. Approximate calculus. Moscow: Fiz.-Mat. Lit. 1962. 387p. (in Russian).

89. Марчук Г.И., Колесов В.Е. Применение численных методов для расчета нейтронных сечений. М.: Атомиздат. 1970. 304с.; Marchuk G.I., Kolesov V.E. Application of Numerical Methods to Neutron Cross-Section Calculations. Moscow: Atomizdat. 1970. 304p. (in Russian).

90. Демидович Б.П., Марон И.Ф. Основы вычислительной математики. М.: Наука. 1966. 664с.; Demidovich B.P., Maron I.F. Foundation of calculus mathematics. Moscow: Nauka. 1966. 664p. (in Russian).

91. Дубовиченко С.Б. Трехтельная модель ядра ${}^7\text{Li}$ // Изв. РАН сер. физ. 2000. Т.64. С.2289-2292; Dubovichenko S.B. Three bode model of the ${}^7\text{Li}$ // Bull. Russ. Academy of Sci. Ser. Fiz. 2000. V.64. P.2289-2292.

92. Ходгсон П.Е. Оптическая модель упругого рассеяния. М.: Атомиздат. 1966. 230с.; Hodgson, P.E. The Optical model of elastic scattering. Oxford: Clarendon Press. 1963. 211p.

93. Plattner G.R., Viollier R.D. Coupling constants of commonly used nuclear probes // Nucl. Phys. 1981. V.A365. P.8-12.

94. Mukhamedzhanov A.M., Tribble R. E. Connection between asymp-

otic normalization coefficients, sub threshold bound states, and resonances // Phys. Rev. 1999. V.C59. P.3418-3424.

95. Блохинцев Л.Д., Борбей И., Долинский Э.И. Ядерные вершинные константы // ЭЧАЯ 1977. Т.8. С.1189-1245; Blokhintsev L.D., Borbey I., Dolinsky E.I. Nuclear vertex constants // Phys. Part. Nucl. 1977. V.8. P.1189-1245.

96. Бейтмен Г., Эрдейн А. Справочная математическая библиотека. Высшие трансцендентные функции. Т.2. М.: Наука. 1968. 295с.; Bateman H., Erdelyi A. Math. library. Higher transcendental functions. V.2. M.: Nauka. 1968. 295p.

97. Лебедев Н.Н. Специальные функции и их приложения. М.: Физ.-мат. лит. 1963. 358с.; Lebedev N.N. Special functions and their applications. M.: Fiz.-Math. Lit. 1963. 358p.

98. Дубовиченко С.Б. Фазовый анализ упругого ${}^4\text{He}^4\text{He}$ рассеяния в области энергий 40-50 MeV // ЯФ 2008. Т.71. С.66-75; Dubovichenko S.B. Partial-wave analysis of elastic ${}^4\text{He}^4\text{He}$ scattering in the energy range 40-50 MeV // Phys. Atom. Nucl. 2008. V.71. P.65-74.

99. Barnett A. et al. Coulomb wave function for all real η and ρ // Comput. Phys. Comm. 1974. V.8. P.377-395.

100. Дубовиченко С.Б., Чечин Л.М. Методы расчета кулоновских функций и фаз рассеяния // Вестник Каз.НПУ сер. физ.-мат. Алматы. 2003. №1(7). С. 115-122; Dubovichenko S.B., Chechin L.M. Calculating methods of the Coulomb functions and scattering phase shifts // Bull. Kaz.NPU. ser. phys.-math. Almaty. Kazakhstan. 2003. №1(7). P.115-122.

101. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. М.: Наука. 1979. 832с.; Abramowitz M., Stegun I.A. Handbook of mathematical functions. Washington: Nat. bur. Stand. 1964. 1046p.

102. Люк Ю. Специальные математические функции и их аппроксимация // М.: Мир. 1980. 608с.; Luke Yu.L. Mathematical functions and their approximations. New York: Academic Press. 1975. 568p.

103. Melkanoff M.A. Fortran program for elastic scattering analysis with nuclear optical model. Los Angeles: Univ. California Pres. Berkley. 1961. 116p.

104. Lutz H.F., Karvelis M.D. Numerical calculation of coulomb wave functions for repulsive coulomb fields // Nucl. Phys. 1963. V.43. P.31-44.

105. Melkanoff M. Nuclear optical model calculations // Meth. in Comput. Phys. New-York: Acad. Press. 1966. V.6. P.1-80.
106. Gody W.J., Hillstrom K.E. Chebyshev approximations for the coulomb phase shifts // Meth. Comput. 1970. V.111. P.671-677.
107. Smith W.R. Nuclear penetrability and phase shift subroutine // Usics Communs. 1969. V.1. P.106-112.
108. Froberg C.E. Numerical treatment of Coulomb wave functions // Rev. Mod. Phys. 1955. V.27. P.399-411.
109. Abramowitz M. Tables of Coulomb wave function. V.1. Washington: N.B.S. 1952. 141p.
110. Данилов В.Л. и др. Справочная математическая библиотека. Математический анализ. Функции, пределы, цепные дроби. М.: Физ.-мат. лит. 1961. 439с.; Danilov V. L. et al. Reference mathematical library. Mathematical analysis. Functions, limits and continued fractions. Moscow: Fiz.-Mat. Lit. 1961. 439p. (in Russian).
111. Кузнецов Д.С. Специальные функции. М.: Высшая школа. 1965. 272с.; Kuznetsov D. S. Special functions. Moscow: Vysshaya Shkola. 1965. 272p. (in Russian).
112. Дубовиченко С.Б. Некоторые версии Алгоритмического языка БЕЙСИК. // УЭИП, Алматы, 2001, 166с.
113. Дубовиченко С.Б., Жусупов М.А. К вопросу о вычислении кулоновских волновых функций // Взаимодействие излучения с веществом, Алма - Ата, КазГУ, 1980, С.99-104.
114. Дубовиченко С.Б., Жусупов М.А. О вычислении кулоновских фаз рассеяния // Изв. АН Каз. ССР сер. физ. - мат., 1981, № 6, С.24-26.
115. Браун Д.Е., Джексон А.Д. Нуклон нуклонные взаимодействия. М.: Атомиздат. 1979. 246с.; Brown G.E., Jackson A.D. The nucleon-nucleon interaction. Amsterdam: North-Holland Publ. Co. New York: American Elsevier Publ. Co. 1976. 242p.
116. Дубовиченко С.Б., Чечин Л.М. Методы решения обобщенной задачи на собственные значения // Вестник Каз.НПУ сер. из. мат. Алматы. 2003. №1(7). С.110-115; Dubovichenko S.B., Chechin L.M. Methods for solving of the generalized eigenvalue problem // Bull. Kaz.NPU. ser. phys.-math. Almaty. Kazakhstan. 2003. №1(7). P.110-115.
117. Дубовиченко С.Б., Такибаев Н.Ж., Чечин Л.М. Физические

процессы в дальнем и ближнем космосе. Алматы: Дайк-Пресс. 2008. 228с.; Dubovichenko S.B., Takibaev N.Zh., Chechin L.M Physical Processes in the Far and Near Space. Almaty: Daik-Press. 2008. 228p.; arXiv:1012.1705 [nucl-th]. (in Russian).

118. Скорняков Л.А. Справочная математическая библиотека. Общая алгебра. М.: Наука. 1990. 591с.; Skornyakov L.A. Reference mathematical library. General algebra. Moscow: Nauka. 1990. 591p. (in Russian).

119. Попов Б.А., Теслер Г.С. Вычисление функций на ЭВМ. Киев: Наукова думка. 1984. 598с.; Popov B.A., Tesler G. S. Computer calculation of functions. Kiev: Naukova Dumka. 1984. 598p. (in Russian).

120. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Мир. 1974. 832с.; Korn G., Korn T. Mathematical Handbook. New-York: McGraw Hill Book Co. 1968. 832p.

121. Дубовиченко С.Б. Некоторые методы решения задач ядерной физики на связанные состояния // Вестник Каз.НУ сер. физ. Алматы. 2008. №1. С.49-58; Dubovichenko S.B. Some methods for solving problems in nuclear physics at the bound states // Bull. Kaz.NU. ser. phys. Almaty. Kazakhstan. 2008. №1. P.49-58.

122. Дубовиченко С.Б., Чечин Л.М. Современные методы программирования актуальных физических задач // Труды конф. "Современные проблемы и задачи информатизации в Казахстане". Каз.НТУ. Алматы. Казахстан. 6-10 октября 2004. С.358-390; Dubovichenko S.B., Chechin L.M. Modern methods of programming the actual physical problems // Book: Current problems and challenges of informatization in Kazakhstan. Almaty. Kazakhstan. 2004. P.358-390.

123. Мишина А.П., Проскуряков И.В. Высшая алгебра. М.: Физ.-мат. лит. 1962. 300с.; Mishina A.P., Proskuryakov I.V. Higher algebra. Moscow: Fiz.-Mat. Lit. 1961. 439p. (in Russian).

124. Kukulin V.I., Vorontchev V.T., Pomerantsev V.N Three body calculation of $A=9$ nuclei with super-symmetric $\alpha\alpha$ potential // Few Body Syst. 1995. V.1. P.191-202.

125. Ворончев В.Т. и др. Изучение структуры и свойств ядер с $A=9$ в рамках мультикластерной динамической модели $2\alpha+N$ // ЯФ 1994. Т.57. С.1964-1980.

126. Варшалович Д.А., Москалев А.Н., Херсонский В.К. Квантовая теория углового момента // Л.: Наука. 1973. 436с.; Varshalovich D.A., Moskaliev A.N., Khersonsky V.K. Quantum theory of angular momentum // L.: Nauka. 1973. 436p.
127. Мотт Н., Мессе Г. Теория атомных столкновений. М.: Мир. 1969. 756с.; Mott N., Messey H. The theory of atomic collisions. UK: Clarendon Press. 1965. 858p.
128. Дубовиченко С.Б. Вариационные методы в трехтельной модели // Вестник Каз.ГАСА. 2003. № 9/10. С.227-232; Dubovichenko S.B. Variational methods in the three-body model // Bull. Kaz.GASA. Almaty. Kazakhstan. 2003. №9(10). P.227-232.
129. Дубовиченко С.Б. Компьютерная программа для расчета характеристик ядра ${}^7\text{Li}$ // Вестник Каз.НТУ. 2004. №5. С.174-182; Dubovichenko S.B. A computer program for calculating the characteristics of the nucleus ${}^7\text{Li}$ // Bull. Kaz.NTU. Almaty. Kazakhstan. 2004. №5. P.174-182.
130. http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mud|search_for=atomnuc!
131. Juster F.P. et al. Tritium electromagnetic form factors // Phys. Rev. Lett. 1985. V.55. P.2261-2264.
132. Beck D.H. et al. Tritium form factors at low q // Phys. Rev. 1984. V.C30. P.1403-1408.
133. Sick I. Precise nuclear radii from electron scattering // Phys. Lett. 1982. V.B116. P.212-214.
134. Afnan I.R., Tang Y.C. Investigation of nuclear three-and four-body systems with soft-core nucleon-nucleon potentials // Phys. Rev. 1968. V.175. P.1337-1345.
135. Krasnopolsky V.M., Kukulin V.I. A new many particle variational method // Czech. J. Phys. 1977. V.B27. P.290-304; Krasnopolsky V.M., Kukulin V.I. A stochastic variational method for few body systems // J. Phys. 1977. V.G3. P.795-811.
136. Ajzenberg-Selove F. Energy levels of light nuclei A=5-10 // Nucl. Phys. 1979. V.A320. P.1-224.
137. Itzykson C., Nauenberg M. Unitary groups: Representations and decompositions // Rev. Mod. Phys. 1966. V. 38. P. 95-101.
138. Никитиу Ф. Фазовый анализ. М.: Мир. 1983. 416с.; Nचितiu F.

Phase shifts analysis in physics. Romania: Acad. Publ. 1980. 416p.

139. Дубовиченко С.Б. Фазовый анализ $^4\text{He}^4\text{He}$ рассеяния при 40–50 MeV // Изв. ВУЗов Физика 2007. № 6. С.74–79; Dubovichenko S.B. Phase analysis of $^4\text{He}^4\text{He}$ scattering at energies of 40–50 MeV // Rus. Phys. J. 2007. V.50. P.605–611.

140. Heydenberg N.P., Temmer G.M. Alpha-Alpha scattering at low energies // Phys. Rev. 1956. V.104. P.123–134.

141. Russel J.L. et al. Scattering of alpha particles from Helium // Phys. Rev. 1956. V.104. P.135–142.

142. Tombrello T.A., Senhouse L.S. Elastic scattering of Alpha particles from Helium // Phys. Rev. 1963. V.129. P.2252–2258.

143. Nilson R. et al. Alpha-Alpha particle scattering in the energy range 12.3 to 22.9 MeV // Phys. Rev. 1956. V.104. P.1673–1680.

144. Nilson R. et al. Investigation of excited states in ^8Be by α -particle scattering from Helium // Phys. Rev. 1958. V.109. P.850–860.

145. Steigert F.E., Samson M.B. Alpha-Alpha scattering from 12.88 to 21.62 MeV // Phys. Rev. 1953. V.92. P.660–664.

146. Chien W.S., Brown R.E. Study of the $\alpha\alpha$ system below 15 MeV // Phys. Rev. 1970. V.C10. P.1767–1784.

147. Bredin D.J. et al. The scattering of alpha particles by helium // Proc. Roy. Soc. 1959. V.A251. P.143–155.

148. Darriulat P., Igo G., Pugh H.G. Elastic scattering of alpha particles by helium between 53 and 120 MeV // Phys. Rev. 1965. V.137. P.B315–B323.

149. Conzett H.E. et al. Alpha-alpha scattering in the 36.8 to 47.3 MeV // Phys. Rev. 1960. V.117. P.1075–1079.

150. Igo G. Optical model analysis of the scattering of alpha particles from helium // Phys. Rev. 1960. V.117. P.1079–1085.

151. Burcham W.E. et al. Alpha-alpha scattering at 38/5 MeV // Nucl. Phys. 1957. V.3. P.217–220.

152. Буртебаев Н.Т. и др. Препринт № 88-01 ИЯФ. Алма-Ата. Казахстан. 1988. (in Russian)

153. Van Niftrik G. J.C. et al. Elastic scattering of 51 MeV alpha particles from helium // In “Compt. Congr. Int. Phys. Nucl.” Paris. 1964. V.2. P.858–860.

154. Дубовиченко С.Б. Компьютерная программа для фазового анализа упругого ${}^4\text{He}{}^4\text{He}$ рассеяния // Труды конф. "Современные проблемы и задачи информатизации в Казахстане". Алматы. Каз.НТУ. 2004. С.327-351; Dubovichenko S.B. A computer program for the phase analysis of the elastic scattering ${}^4\text{He}{}^4\text{He}$ // Book: Current problems and challenges of informatization in Kazakhstan. Almaty. Kazakhstan. 2004. P.327-351.

155. Conzett H.E., Slobodrian R.J. // In "Compt. Renu. Cong. Int. Phys. Nucl." Paris. 1964. V.2, P.228; Conzett H. E. et al. // Bull. Amer. Phys. Soc. 1957. V.2. P.305.

156. Буртебаев Н.Т., Дуйсебаев А.Д. Сечения упругого альфа - альфа рассеяния при 49.9 MeV // В сб. "Тезисы XXX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра." Ленинград: 1980. С.393.

157. Dubovichenko S.B., Burtabayev N., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Zazulin D.M. Phase shift analysis and potential description of the elastic ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ scattering at low energies // Uz. J. Phys. 2009. V.11. № 2. P.87-94.

158. Jones C.M. et al. The scattering of alpha particles from ${}^{12}\text{C}$ // Nucl. Phys. 1962. V.37. P.1-9.

159. Plaga R. et al. The scattering of alpha particles from ${}^{12}\text{C}$ and the ${}^{12}\text{C}(\alpha,\gamma){}^{16}\text{O}$ stellar reaction rate // Nucl. Phys. 1987. V.A465. P.291-316.

160. Tilley D. R., Weller H. R., Cheves C. M. Energy levels of light nuclei $A=16,17$ // Nucl. Phys. 1993. V.A564. P.1-183.

161. Дубовиченко С.Б. и др. Фазовый анализ упругого ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ рассеяния при энергиях 1.5-6.5 MeV. // Доклады НАН РК 2008. №6. С.24-32; Dubovichenko S.B. et al. Phase shifts analysis of elastic ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ scattering at energies 1.5-6.5 MeV // Dokl. Nat. Acad. Sci. Rep. Kazakhstan. 2008. №6. P.24-32.

162. Дубовиченко С.Б. и др. Фазовый анализ и потенциальное описание упругого ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ рассеяния при низких энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2009. № 7. С.55-62; Dubovichenko S.B. et al. Phase shifts analysis and potential description of elastic ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ scattering at low energies // Rus. Phys. J. 2009. V.52. P.715-724.

163. Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В. Астрофизиче-

ский S -фактор радиационного ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ захвата // Изв РАН сер. физ. 2011. №11. С.1614-1620; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S -factor of the radiative ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ capture reaction at low energies // Bull. Russian Academy of Sciences: Physics. 2011. V.75. P.1517-1522; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S -factor of the ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ radiative captures at low energies // Uz. J. Phys. 2009. V.11. №4. P.239-246; Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В. Астрофизический S -фактор радиационного ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ захвата при низких энергиях // Доклады НАН РК 2009. №2. С.9-15; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S -factor ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ radiative capture at low energies // Dokl. Nat. Acad. Sci. Rep. Kazakhstan. 2009. №2. P.9-15.

164. Salpeter E.E. Nuclear reactions in stars // Phys. Rev. 1957. V.107. P.516-525; Salpeter E.E. Nuclear Reactions in stars without hydrogen // Astrophys. Jour. 1952. V.115. P.326; Rolfs C. Nuclear reactions in stars far below the Coulomb barrier // Prog. Part. Nucl. Phys. 2007. V.59. P.43-50.

165. Дубовиченко С.Б. Программа поиска фаз упругого рассеяния ядерных частиц со спином $1/2$ // Вестник Каз.НТУ 2004. №3. С.137-144; Dubovichenko S.B. Program for seek of phase shifts elastic scattering for particles with spin $1/2$ // Bull. Kaz.NTU. Almaty. Kazakhstan. 204. №3. P.137-144.

166. Дубовиченко С.Б. и др. Фазовый анализ дифференциальных сечений упругого $p^{12}\text{C}$ рассеяния при астрофизических энергиях // Изв. НАН РК сер. физ.-мат. 2007. №6. С.58-67; Dubovichenko S.B. Phase shifts analysis of the differential cross section for elastic $p^{12}\text{C}$ scattering at astrophysical energies // Bull. Nat. Acad. Sci. Rep. Kazakhstan. ser. phys.-math. 2007. №6. P.58-67.

167. Jahns M.F., Bernstein E.M. Polarization in $p\alpha$ scattering // Phys. Rev. 1967. V.162. P.871-877.

168. Bamard A., Jones C., Well J. Elastic scattering of 2-11 MeV proton by ${}^4\text{He}$ // Nucl. Phys. 1964. V.50. P.604-620.

169. Brown R.I., Haeblerli W., Saladin J.X. Polarization in the scattering of protons by α particles // Nucl. Phys. 1963. V.47. P.212-213.

170. Jackson H.L. et al. The ${}^{12}\text{C}(p,p){}^{12}\text{C}$ differential cross section // Phys. Rev. 1953. V.89. P.365-269.

171. Jackson H.L. et al. The excited states of the ^{13}N nucleus // *Phys. Rev.* 1953. V.89. P.370-374.

172. Дубовиченко С.Б. Фазовый анализ $p^{12}\text{C}$ рассеяния при астрофизических энергиях // *Изв. ВУЗов Физика* 2008. №11. С.21-27; Dubovichenko S.B. Phase analysis of elastic $p^{12}\text{C}$ scattering for astrophysical energies // *Rus. Phys. J.* 2008. V.51. P.1136-1143.

173. Zazulin D.M. et al. Scattering of protons from ^{12}C // The 6th Int. Conf. "Modern Problems of Nuclear Physics" Tashkent. Uzbekistan. 2006. P.127; Baktybaev M.K. et al. Elastic scattering of protons from ^{12}C , ^{16}O and ^{27}Al // The 4th Eurasia Conf. "Nucl. Sci. and its Appl." Baku. Azerbaijan. 2006. P.56.

174. Moss S.J., Haerberli W. The polarization of protons scattered by Carbon // *Nucl. Phys.* 1965. V.72. P.417-435.

175. Barnard A.C.L. et al. Cross section as a function of angle and complex phase shifts for the scattering of protons from ^{12}C // *Nucl. Phys.* 1966. V.86. P.130-144.

176. Lane R.O. et al. The Angular Distributions of Neutrons Scattered from Various Nuclei // *Ann. Phys.* 1961. V.12. P.135.

177. Ajzenberg-Selove F. Energy level of light nuclei $A=13,14,15$ // *Nucl. Phys.* 1991. V.A523. P.1-196.

178. Heil M. et al. The (n,γ) cross section of ^7Li // *Astrophys. Jour.* 1998. V.507. P.997-1002; Guimaraes V. and Bertulani C.A. Light radioactive nuclei capture reactions with phenomenological potential models // arXiv:0912.0221v1 [nucl-th] 1 Dec 2009; Masayuki Igashira, Toshiro Oh-saki Neutron capture nucleosynthesis in the Universe // *Sci. Tech. Adv. Materials* 2004. V.5. P.567-573; Nagai Y. et al. Fast neutron capture reactions in nuclear astrophysics // *Hyperfine Interactions* 1996. V.103. P.43-48; Liu Z.H. et al. Asymptotic normalization coefficients and neutron halo of the excited states in ^{12}B and ^{13}C // *Phys. Rev.* 2001. V.C64. P.034312(1-5); Horvath A. et al. Cross section for the astrophysical $^{14}\text{C}(n,\gamma)^{15}\text{C}$ reaction via the inverse reaction // *Astrophys. Jour.* 2002. V.570. P.926-933.

179. Дубовиченко С.Б. Термоядерные процессы Вселенной. Алматы: АФИФ. 2010. 339с.; Dubovichenko S.B. Thermonuclear processes of the Universe. Almaty: APhi. 2010. 339p.; <http://nuclphys.sinp.msu.ru/thpu/index.html>. (in Russian).

180. Dubovichenko S.B. Thermonuclear Processes of the Universe. First English edition. New-York: NOVA Sci. Publ. 2012. 194p.; https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=31125.

181. Adelberger E.G. et al. Solar fusion cross sections. II. The pp chain and CNO cycles // *Rev. Mod. Phys.* 2011. V.83. P.195-245.

182. Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В. Астрофизический S -фактор радиационного $p^{12}\text{C} \rightarrow ^{13}\text{N}\gamma$ захвата // *Изв. ВУЗов Физика* 2009. №8. С.58-64; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S -factor for $p^{12}\text{C} \rightarrow ^{13}\text{N}\gamma$ radiative capture // *Rus. Phys. J.* 2009. V.52. P.833-840.

183. Henderson J.D. et al. Capture and elastic scattering of proton be ^{14}C // *Phys. Rev.* 1968. V.172. P.1058-1062.

184. Bartholomew G.A. et al. Capture radiation and neutrons from the bombardment of ^{14}C with protons // *Can. Jour. Phys.* 1955. V. 33(8). P.441-456; Bartholomew G.A. et al. Note on the $T = 3/2$ State in ^{15}N // *Can. Jour. Phys.* 1956. V. 34. P.147.

185. Дубовиченко С.Б. Захват нейтронов легкими ядрами при астрофизических энергиях // *ЭЧАЯ* 2013. Т.44. С.1353-1624; Dubovichenko S.B. Neutron Capture by Light Nuclei at Astrophysical Energies // *Phys. Part. Nucl.* 2013. V.44. P.803-847; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Burkova N.A. Neutron radiative capture by ^2H , ^6Li , ^7Li , ^{12}C and ^{13}C at astrophysical energies // *Int. J. Mod. Phys.* 2013. V.E22. P.1350028(1-52); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Afanasyeva N.V. Neutron radiative capture by ^9Be , ^{14}C , ^{14}N , ^{15}N and ^{16}O at astrophysical energies // *Int. J. Mod. Phys.* 2013. V.E22. P.1350075(1-53); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Neutron radiative capture by ^2H , ^6Li , ^7Li , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C and ^{14}N at astrophysical energies // *Book: The Universe Evolution. Astrophysical and Nuclear Aspects.* New-York, NOVA Sci. Publ. 2013. P.49-108.

186. Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S -factors of radiative capture of protons on ^2H , ^3H , ^6Li and ^{12}C nuclei // *Int. J. Mod. Phys.* 2012. V.E21. P.1250039(1-44).

187. Дубовиченко С.Б. Легкие ядра и ядерная астрофизика. Изд. второе, исправленное и дополненное. Lambert Academy Publ. GmbH&Co. KG., Saarbrucken. 2013. 320с.; Dubovichenko S.B. Light nu-

clei and nuclear astrophysics. Second Edition, corrected and enlarged, Lambert Academy Publ. GmbH&Co. KG., Saarbrucken. 2013. 320p.

188. Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S -factor of the radiative $p^2\text{H}$ capture // Euro. Phys. J. 2009. V.A39. P.139-143; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. The ${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$ radiative capture at astrophysical energies // Ann. der Phys. 2012. V.524. P.850-861.

189. Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В. Фазовый анализ $p^{14}\text{C}$ рассеяния при энергии ${}^2S_{1/2}$ резонанса // Изв. ВУЗов Физика 2014. (В печати); Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Phase shifts analysis of $p^{14}\text{C}$ scattering at energy ${}^2S_{1/2}$ resonance // Rus. Phys. J. 2014. (In press).

190. Дубовиченко С.Б. и др. Астрофизический S -фактор радиационного $p^6\text{Li}$ захвата при низких энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2010. №7. С.78-85; Dubovichenko S.B. et al. Astrophysical S -factor of radiative $p^6\text{Li}$ capture at low energies // Rus. Phys. J. 2010. V.53. P.743-749; Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В. Астрофизический S -фактор радиационного $p^6\text{Li}$ захвата // Доклады НАН РК 2009. №6. С.41-45; Dubovichenko S.B. Astrophysical S -factor radiative $p^6\text{Li}$ capture // Dokl. Nat. Acad. Sci. Rep. Kazakhstan. 2009. №6. P.41-45.

191. Petitjean C., Brown L., Seyler R. Polarization and phase shifts in ${}^6\text{Li}(p,p){}^6\text{Li}$ from 0.5 to 5.6 MeV // Nucl. Phys. 1969. V.A129. P.209-219.

192. Baktybaev M.K. et al. The scattering of protons from ${}^6\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}$ nuclei // The 4th Eurasia Conf. "Nucl. Sci. and its Appl." Baku. Azerbaijan. 2006. P.62; Burtebaev N. et al. The new experimental data on the elastic scattering of protons from ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^{16}\text{O}$ and ${}^{27}\text{Al}$ nuclei // The 5th Eurasian Conf. "Nucl. Sci. and its Appl.". Ankara. Turkey. 2008. P.40.

193. Дубовиченко С.Б. и др. Астрофизический S -фактор реакции $p^6\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be}\gamma$ захвата // ЯФ 2011. Т.74. С.1013-1028; Dubovichenko S.B. et al. Astrophysical S factor for the radiative-capture reaction $p^6\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be}\gamma$ // Phys. Atom. Nucl. 2011. V.74. P.984-1000.

194. Skill M. et al. Differential cross section and analyzing power for elastic scattering of protons on ${}^6\text{Li}$ below 2.2 MeV // Nucl. Phys. 1995. V.A581. P.93-106.

195. Дубовиченко С.Б., Зазулин Д.М. Фазовый анализ упругого

$p^6\text{Li}$ рассеяния при астрофизических энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2010. №5. С.20-25; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Phase analysis of elastic $p^6\text{Li}$ scattering at astrophysical energies // Rus. Phys. J. 2010. V.53. P.458-464.

196. Янке Е., Емде Ф., Леш Ф. Специальные функции, М.: Наука, 1968. 344с.; Janke E., Emde F., Losch F. Spezial functions. Stuttgart: B.G. Teubler. 1960. 344p.

197. Tombrello T.A. Phase shift analysis for $^3\text{He}(p,p)^3\text{He}$ // Phys. Rev. 1965. V.138. P.B40-B47.

198. Clegg T. et al. The elastic scattering of protons from ^3He from 4.5 to 11.5 MeV // Nucl. Phys. 1964. V.50. P.621-628.

199. Tombrello T.A. et al. The scattering of protons from ^3He // Nucl. Phys. 1962. V.39. P.541-550.

200. Hebbard D.F., Vogl J.L. Elastic scattering and radiative capture of protons by ^{13}C // Nucl. Phys. 1960. V.21. P.652-675.

201. Galster W. et al. Target and detection techniques for the $^{13}\text{N}(p,\gamma)^{14}\text{O}$ reaction using radioactive ion beams: $^{13}\text{C}(p,\gamma)^{14}\text{N}$ reaction as a test case // Phys. Rev. 1991. V.C44. P.2776-2787.

202. Дубовиченко С.Б. Фазовый анализ упругого $p^{13}\text{C}$ рассеяния // ЯФ 2012. Т.75. С.314-319; Dubovichenko S.B. Phase shifts analysis of the elastic $p^{13}\text{C}$ scattering // Phys. Atom. Nucl. 2012. V.75. P.285-290.

203. Дубовиченко С.Б. Астрофизический S -фактор радиационного $p^{13}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N}\gamma$ захвата // ЯФ 2012. Т.75. С.196-203; Dubovichenko S.B. Astrophysical S -factor radiative $p^{13}\text{C}$ capture // Phys. Atom. Nucl. 2012. V.75. P.173-181.

204. Фаулер У.А. Экспериментальная и теоретическая ядерная астрофизика, поиски происхождения элементов // УФН. 1985. Т.145. С.441-488; Fowler W.A. Experimental and Theoretical Nuclear Astrophysics: the Quest for the Original of the Elements. Nobel Lecture. Stockholm. 8 Dec. 1983.

205. Seagrave J.D., Cranberg L., Simmons J.E. Elastic Scattering of Fast Neutrons by Tritium and ^3He // Phys. Rev. 1960. V.119. P.1981-1991.

206. Sayres A.R., Jones K.W., Wu C.S. Interaction of Neutrons with ^3He // Phys. Rev. 1961. V.122. P.1853-1863.

207. Haesner B. et al. Measurements of the ^3He and the ^4He total neu-

- tron cross sections up to 40 MeV // Phys. Rev. 1983. V.C28. P.995-999.
208. Tilley D.R., Weller H.R., Hale G.M. Energy levels of light nuclei A=4 // Nucl. Phys. 1992. V.A541. P.1-157.
209. Kankowsky R. et al. Elastic scattering of polarized protons on tritons between 4 and 12 MeV // Nucl. Phys. 1976. V.A263. P.29-46.
210. Дубовиченко С.Б., Омаров Ч.Т. Фазовый анализ упругого $n^3\text{He}$ рассеяния // Изв. ВУЗов Физика 2014. (В печати); Dubovichenko S.B., Omarov Ch.T. Phase shifts analysis of $n^3\text{He}$ elastic scattering // Rus. Phys. J. 2014. (In press).
211. Дубовиченко С.Б. Астрофизические S -факторы радиационного $^3\text{He}^4\text{He}$, $^3\text{H}^4\text{He}$ и $^2\text{H}^4\text{He}$ захвата // ЯФ 2010. Т.73. С.1573-1584; Dubovichenko S.B. Astrophysical S factors of radiative $^3\text{He}^4\text{He}$, $^3\text{H}^4\text{He}$, and $^2\text{H}^4\text{He}$ capture // Phys. Atom. Nucl. 2010. V.73. P.1517-1522; Дубовиченко С.Б. Астрофизический S -фактор $p^7\text{Li} \rightarrow ^8\text{Be}\gamma$ захвата при низких энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2010. №12. С.29-38; Dubovichenko S.B. Astrophysical S -factor of the $p^7\text{Li} \rightarrow ^8\text{Be}\gamma$ capture at low energies // Rus. Phys. J. 2010. V.53. P.1254-1263; Дубовиченко С.Б. Астрофизический S -фактор радиационного $p^9\text{Be}$ захвата // Изв. ВУЗов Физика 2011. №7. С.80-86; Dubovichenko S.B. Astrophysical S -factor of the $p^9\text{Be} \rightarrow ^{10}\text{B}\gamma$ radiative capture // Rus. Phys. J. 2011. V.54. P.814-821.
212. Дубовиченко С.Б. M1 процесс и астрофизический S -фактор реакции $p^2\text{H}$ захвата // Изв. ВУЗов Физика 2011. №2. С.28-34; Dubovichenko S.B. Contribution of the M1 process to the astrophysical S -factor of the $p^2\text{H}$ radiative capture // Rus. Phys. J. 2011. V.54. P.157-164; Дубовиченко С.Б. Астрофизический S -фактор радиационного захвата протонов на ядрах ^3H и ^7Li // ЯФ 2011. Т.74. С.378-390; Dubovichenko S.B. Astrophysical S factors for radiative proton capture by ^3H and ^7Li nuclei // Phys. Atom. Nucl. 2011. V.74. P.358-370.
213. Ali S., Ahmad A.A.Z., Ferdous N. A suvey of N^4He interaction // Prepr. Int. Center for Theor. Phys. 1984. 1C/84/195. 108p.
214. Schmelzbach P. et al. Phase shift analysis of $^2\text{H}^4\text{He}$ elastic scattering // Nucl. Phys. 1972. V.A184. P.193-213.
215. McIntair L., Haerberli W. Phase shift analysis of $^2\text{H}^4\text{He}$ scattering // Nucl. Phys. 1967. V.A91. P.382-398.
216. Bruno M., Cannata F., D'Agostino M., Maroni C., Massa I. Ex-

perimental study on low energy $^2\text{H}(^4\text{He}, ^4\text{He})^2\text{H}$ elastic scattering // INFN Italy. Bologna. 1981. AE-81/9. 15P.

217. Jenny B. et al. Phase shift analysis of $d\alpha$ elastic scattering between 3 and 43 MeV // Nucl. Phys. 1983. V.A397. P.61-101.

218. Keller L., Haerberli W. Vector polarization measurements and phase shift analysis for $^2\text{H}^4\text{He}$ scattering between 3 and 11 MeV // Nucl. Phys. 1970. V.A156. P.465-476.

219. Simon G., Schmitt Ch., Walther V.H. Elastic electron and magnetic $e^2\text{H}$ scattering at low momentum transferred // Nucl. Phys. 1981. V.A364. P.285-296.

220. <http://cdfc.sinp.msu.ru/cgi-bin/muh/radchartnucl.cgi?zmin=0&zmax=14&tdata=123456>.

221. Purcell J.E. et al. Energy levels of light nuclei $A=3$ // Nucl. Phys. 2010. V.A848. P.1-74; http://www.tunl.duke.edu/nucldata/HTML/A=3/03H_2010.shtml.

222. Tilley D.R. et al. Energy level of light nuclei $A=5,6,7$ // Nucl. Phys. 2002. V.A708. P.3-163.

223. Mueller P. et al. Nuclear charge radius of ^8He // Phys. Rev. Lett. 2007. V.99. P. 2501-2505.

224. Jenny B. et al. Phase shift analysis of $^3\text{He}(^2\text{H}, ^2\text{H})^3\text{He}$ scattering // Nucl. Phys. 1980. V.A337. P.77-85.

225. Kanada H. et al. Characteristic features of specific distortion in light nuclear systems // Nucl. Phys. 1986. V.A457. P.93-97; Kanada H., Kaneko T., Tang Y.C. Multiconfiguration resonating group study of the five-nucleon system // Nucl. Phys. 1989. V.A504. P.529-532; Chwieroth F.S., Tang Y.C., Tompson D.R. Microscopic coupled channel study of the five-nucleon system with RGM // Phys. Rev. 1974. V.C9. P.56-65; Chwieroth F.S. et al. Study of $^2\text{H}^3\text{H}$ and $^2\text{H}^3\text{He}$ systems with RGM // Phys. Rev. 1973. V.C8. P.938-942; Shen P.N. et al. Specific distortion effect in the five-nucleon system // Phys. Rev. 1975. V.C31. P.2001-2008.

226. Spiger R., Tombrello T.A. Scattering of He^3 by He^4 and of He^4 by Tritium // Phys. Rev. 1967. V.163. P.964-984.

227. Ivanovich M., Young P.G., Ohlsen G.G. Elastic scattering of several hydrogen and helium isotopes from tritium // Nucl. Phys. 1968. V.A110. P.441-462.

228. Tilley D.R. et al. Energy level of light nuclei. $A=8,9,10$ // Nucl. Phys. 2004. V.A745. P.155-363.
229. Буркова Н.А., Дубовиченко С.Б. Трехтельная ${}^4\text{He}{}^3\text{H}{}^2\text{H}$ модель ядра ${}^9\text{Be}$ // Изв. ВУЗов Физика 2008. №1. С.86-91; Burkova N.A., Dubovichenko S.B. ${}^4\text{He}{}^3\text{H}{}^2\text{H}$ three-body model of the ${}^9\text{Be}$ nucleus // Rus. Phys. J. 2008. V.51. P.99-104.
230. Shoda K., Tanaka T. Clusters in the photodisintegration of ${}^9\text{Be}$ // Phys. Rev. 1999. V.C59. P.239-252.
231. Ali S. and Bodmer A.R. Phenomenological $\alpha\alpha$ potential // Nucl. Phys. 1966. V.80. P.99-112.
232. Jones C.M. et al. Alpha-alpha scattering in the energies range 5 to 9 MeV // Phys. Rev. 1969. V.117. P.525-530.
233. Igamov S.B., Yarmukhamedov R. Modified two-body potential approach to the peripheral direct capture astrophysical $a+A\rightarrow B+\gamma$ reaction and asymptotic normalization coefficients // Nucl. Phys. 2007. V.A781. P.247-276.
234. Brune C.R. et al. Sub-Coulomb α transfers on ${}^{12}\text{C}$ and the ${}^{12}\text{C}(\alpha,\gamma){}^{16}\text{O}$ S -factor // Phys. Rev. Lett. 1999. V.83. P.4025-4028.
235. Ajzenberg-Selove F. Energy level of light nuclei $A=11,12$ // Nucl. Phys. 1990. V.A506. P.1-158.
236. Радиационный захват нейтронов: Справочник / Т.С. Беланова, А.В. Игнатюк, А.Б. Пашенко, В.И. Пляскин. М: Энергоатомиздат, 1986. 248с. (in Russian)
237. Kukulin V.I., Neudatchin V.G., Obukhovskiy I.T. and Smirnov Yu.F. Clusters as subsystems in light nuclei, in: Clustering Phenomena in Nuclei edited by K. Wildermuth and P. Kramer. Branschweig: Vieweg. 1983. V.3. P.1.
238. Switkowski Z.E. et al. Cross section of the reaction ${}^6\text{Li}(p,\gamma){}^7\text{Be}$ // Nucl. Phys. 1979. V. A331. P.50-60; Bruss R. et al. Astrophysical S -factors for the radiative capture reaction ${}^6\text{Li}(p,\gamma){}^7\text{Be}$ at low energies // Proc. 2nd Intern. Symposium on Nuclear Astrophysics. Nuclei in the Cosmos. Karlsruhe. Germany. 6-10 July. 1992. Kappeler F., Wisshak K., Eds. IOP Publishing Ltd. Bristol. England. 1993. P.169.
239. Arai K., Baye D., Descouvemont P. Microscopic study of the ${}^6\text{Li}(p,\gamma){}^7\text{Be}$ and ${}^6\text{Li}(p,\alpha){}^3\text{He}$ reactions // Nucl. Phys. 2002. V. A699. P.963-

975.

240. <http://cdfe.sinp.msu.ru/exfor/index.php> .
241. <http://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm> .
242. Bartholomew G.A. and Campion P.J. Neutron capture gamma rays from lithium, boron, and nitrogen // *Can. J. Phys.* 1975. V.35. P.1347-1360.
243. Jarczyk L. et al. (n,γ) spectrum for lithium and beryllium // *Helv. Phys. Acta* 1961. V.34. P.483-484.
244. Journey E.T. Thermal capture cross sections for ${}^6\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}$ // *U.S. Nucl. Data Comm.* 1973. №9. P.109.
245. Chang Su Park, Gwang Min Sun, H.D. Choi Determination of thermal neutron radiative capture cross section of ${}^6\text{Li}$ // *Nucl. Instr. Meth.* 2006. V.B245. P.367-370.
246. Krauss H. et al. The astrophysical S -factor of the reaction ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$ in the direct capture model // *Ann. der Phys.* 1993. V.2. P.258-266.
247. Trache L. et al. Asymptotic normalization coefficients for ${}^8\text{B} \rightarrow {}^7\text{Be} + p$ from a study of ${}^8\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Li} + n$ // *rxiv:nucl-ex/0304016v1* 21 Apr 2003.
248. Mughabghab S.F., Lone M.A., Robertson B.C. Quantitative test of the Lane-Lynn theory of direct radiative capture of thermal neutrons by ${}^{12}\text{C}$ and ${}^{13}\text{C}$ // *Phys. Rev.* 1982. V.C26. P.2698-2701.
249. Journey E.T., Bendt P.J., Browne J.C. Thermal neutron capture cross section of deuterium // *Phys. Rev.* 1982. V.C25. P.2810-2811.
250. Kikuchi T. et al. Nonresonant direct p- and d-wave neutron capture by ${}^{12}\text{C}$ // *Phys. Rev.* 1998. V.C57. P.2724-2730.
251. Macklin R.L. Neutron Capture by ${}^{12}\text{C}$ at stellar temperatures // *Astrophys. Jour.* 1990. V.357. P.649.
252. Ohsaki T. et al. New measurement of the ${}^{12}\text{C}(n,\gamma){}^{13}\text{C}$ reaction cross section / *Astrophys. Jour.* 1994. V.422. P.912.
253. Nagai Y. et al. Neutron capture cross sections of light nuclei in primordial nucleosynthesis // *Nucl. Instr. Meth.* 1991. V.B56. P.492-495.
254. Shima T. et al. Experimental studies of KeV energy neutron - induced reactions relevant to astrophysics and nuclear physics // *JAERI-C-97-004.* 1996. P.131.
255. Sadeghi H. and Bayegan S. Precision calculation for nucleon cap-

ture by deuteron with effective field theory // Nucl. Phys. 2005. V.A753. P.291-304.

256. ENDF/B online database at the NNDC Online Data Service, <http://www.nndc.bnl.gov>.

257. Schmelzbach P. et al. Phase shift analysis of $p^2\text{H}$ elastic scattering // Nucl. Phys. 1972. V.A197. P.273-289; Arvieux J. Analyse en dephasages des sections efficaces et polarisations dans la diffusion elastique $p^2\text{H}$ // Nucl. Phys. 1967. V.A102. P.513-528; Chauvin J., Arvieux J. Phase shift analysis of spin correlation coefficients in $p^2\text{H}$ scattering // Nucl. Phys. 1975. V.A247. P.347-358; Huttel E. et al. Phase shift analysis of $p^2\text{H}$ elastic scattering below break-up threshold // Nucl. Phys. 1983. V.A406. P.443-455.

258. Griffiths G.M., Larson E.A., Robertson L.P. The capture of proton by deuteron // Can. J. Phys. 1962. V.40. P.402-411.

259. Ma L. et al. Measurements of $^1\text{H}(d\rightarrow,\gamma)^3\text{He}$ and $^2\text{H}(p\rightarrow,\gamma)^3\text{He}$ at very low energies // Phys. Rev. 1997. V.C55. P.588-596.

260. Schmid G.J. et al. The $^2\text{H}(p\rightarrow,\gamma)^3\text{He}$ and $^1\text{H}(d\rightarrow,\gamma)^3\text{He}$ reactions below 80 keV // Phys. Rev. 1997. V.C56. P.2565-2681.

261. Casella C. et al. First measurement of the $d(p,\gamma)^3\text{He}$ cross section down to the solar Gamow peak // Nucl. Phys. 2002. V.A706. P.203-216.

262. Tilley D.R., Weller H.R., Hasan H.H. Energy levels of light nuclei $A = 3$ // Nucl. Phys. 1987. V.A474. P.1-60.

263. <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?rd#mid>

264. Киржниц Д.А. Содержится ли дейтрон внутри тритона? // Письма в ЖЭТФ 1978. Т.28. С.479-481.

265. Faul D.D. et al. Photodisintegration of ^3H and ^3He // Phys. Rev. 1981. V.C24. P.849-873.

266. Bosch R. et al. Photodisintegration of H^3 // Phys. Lett. 1964. V.8. P.120.

267. Дубовиченко С.Б. Радиационный $n^2\text{H}$ захват при низких энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2012. Т.55. №2. С.13-19; Dubovichenko S.B. Radiative capture $n^2\text{H}$ at low energies // Rus. Phys. J. 2012. V.55. С.138-143.

268. Nagai Y. et al. Measurement of the $^2\text{H}(n,\gamma)^3\text{H}$ reaction cross section between 10 and 550 keV // Phys. Rev. 2006. V.C74. P.025804(1-7).

269. Mitev G. et al. Radiative neutron capture by deuterium // *Phys. Rev.* 1986. V.C34. P.389-400.
270. Trail C.C., Raboy S. Neutron capture by deuterium // *BAP* 1964. V.9. P.176.
271. Ohsaki T. et al. Role of multiparticle-multihole states of $^{18,19}\text{O}$ in $^{18}\text{O}(n,\gamma)^{19}\text{O}$ reactions at keV energy // *Phys. Rev.* 2008. V.C77. P.051303(1-5).
272. Ohsaki T. et al. keV-neutron capture cross sections of light nuclei and nucleosynthesis // *AIP* 2000. V.529 P.458-465.
273. Ohsaki T. et al. First measurement of neutron capture cross section of ^6Li at stellar energy // *AIP* 2000. V.529. P.678-680.
274. Su Jun et al. Neutron Spectroscopic Factors of ^7Li and Astrophysical $^6\text{Li}(n,\gamma)^7\text{Li}$ Reaction Rates // *Chin. Phys. Lett.* 2010. V.27. P.052101-1-052101-4.
275. Дубовиченко С.Б. Радиационный захват нейтронов на ядре ^6Li при астрофизических энергиях // *Изв. ВУЗов Физика* 2012. №11. С.68-76; Dubovichenko S.B. Radiative capture of neutrons by ^6Li at astrophysical energies // *Rus. Phys. J.* 2012. V.55. P.1314-1323.
276. Мухамеджанов А.М., Тимофеюк Н.К. Микроскопические расчеты вершинных констант отделения нуклона для ядер 1p-оболочки // *ЯФ* 1990. Т.51. С.679-689; Mukhamedzhanov A.M., Timofeyuk N.K. Microscopic calculation of nucleon separation vertex constant for 1p shell nuclei // *J. Sov. Nucl. Phys.* 1990. V.51. P.431-441; Блохинцев Л.Д., Мухамеджанов А.М., Тимофеюк Н.К. Вершинная константа виртуального распада $t \rightarrow d+n$ и нуклон-нуклонный потенциал // *УФЖ* 1990. Т.35. С.341-345; Blokhintsev L.D., Mukhamedzhanov A.M., Timofeyuk N.K. The Vertex Constant of Virtual Decay $t \rightarrow d+n$ and a Nucleon-Nucleon Potential // *Ukr. J. Phys.* 1990. V.35. P.341-345.
277. Nollett K.M., Wiringa R.B. Asymptotic normalization coefficients from ab initio calculations // *arXiv:1102.1787v3 [nucl-th]*.
278. Буркова Н.А. и др. Однонуклонная спектроскопия в легких ядрах // *ЭЧАЯ* 2009. Т.40. С.320-395; Burkova N.A. et al. One-nucleon spectroscopy of light nuclei // *Phys. Part. Nucl.* 2009. V.40. P.162-205.
279. Karataglidis S. et al. The $^7\text{Li}(\gamma,n_0)^6\text{Li}$ cross section near threshold // *Nucl. Phys.* 1989. V.A501. P.108-117.

280. Bramblett R.L. et al. Photoneutron cross sections for ${}^7\text{Li}$ // Proc. of Intern. Conf. Photonucl. React. Appl. California. 1973. V.1. P.175.
281. Green L., Donahue D.J. Photoneutron cross sections with monoenergetic neutron-capture gamma rays // Phys. Rev. 1964. V.B135. P.B701-B705.
282. Tombrello T.A. The capture of protons by ${}^7\text{Be}$ // Nucl. Phys. 1965. V.71. P.459-464; Aurdal A. Proton capture by ${}^7\text{Be}$ // Nucl. Phys. 1970. V.146. P.385-389.
283. Descouvemont P., Baye D. Microscopic study of the ${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$ and ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$ reactions in a multiconfiguration three-cluster model // Nucl. Phys. 1994. V.A567. P.341-353.
284. Fernando L., Higa R. and Rupak G. Resonance Contribution to Radiative Neutron Capture on Lithium-7 // arXiv:1109.1876v1 [nucl-th]; Fernando L., Higa R. and Rupak G. Leading E1 and M1 contributions to radiative neutron capture on lithium-7 // Eur. Phys. J. 2012. V.A48:24(1-13).
285. Huang J.T., Bertulani C.A., Guimaraes V. Radiative capture of protons and neutrons at astrophysical energies and potential models // Atom. Data and Nucl. Data Tabl. 2010. V.96. P.824-847.
286. Imhof W. L. et al. Cross Sections for the $\text{Li}^7(n,\gamma)\text{Li}^8$ Reaction // Phys. Rev. 1959. V.114. P.1037-1039.
287. Nagai Y. et al. ${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$ reaction and the S_{17} factor at $E_{c.m.} > 500$ keV // Phys. Rev. 2005. V.C71. P.055803(1-8).
288. Weischer M., Steininger R., Kaeppler F. ${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$ trigger reaction to a primordial r-process? // Astrophys. Jour. 1989. V.344. P.464.
289. Blackmon J.C. et al. Measurement of ${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$ cross sections at $E_n = 1.5\text{--}1340$ eV // Phys. Rev. 1996. V.C54. P.383-388.
290. Lynn J.E., Journey E.T., Raman S. Direct and valence neutron capture by ${}^7\text{Li}$ // Phys. Rev. 1991. V.C44. P.764-773.
291. Дубовиченко С.Б., Буркова Н.А. Астрофизический $n^9\text{Be}$ захват // Изв. ВУЗов Физика. 2013. Т.56.№3. С.55-62; Dubovichenko S.B., Burkova N.A. Astrophysical $n^9\text{Be}$ capture // Rus. Phys. J. 2013. V.56. P.298-306.
292. Долинский Э.И., Мухамеджанов А.М., Ярмухамедов Р. Прямые ядерные реакции на легких ядрах с вылетом нейтронов. Ташкент.

Уз.ССР: ФАН. 1978. С.7-44; Dolinskii E.I., Mukhamedzhanov A.M., Yarmukhamedov R. Direct nuclear reactions on light nuclei with neutrons emission. Tashkent. Uz.SSR: FAN. 1978. P.7-44. (in Russian).

293. Бояркина Ф.Н. Структура ядер 1p-оболочки. М.: МГУ. 1973. 66с.; Boyarkina F.N. Structure of 1p-shell nuclei. Moscow: MSU. 1973. 66p. (in Russian).

294. Conneely C.M., Prestwich W.V., Kennett T.J. The thermal neutron capture cross section of ${}^9\text{Be}$ // Nucl. Inst. Method 1986. V.A248. P.416-418.

295. Wallner A. et al. Measurement of the stellar cross sections for the reactions ${}^9\text{Be}(n,\gamma){}^{10}\text{Be}$ and ${}^{13}\text{C}(n,\gamma){}^{14}\text{C}$ via AMS // J. Phys. 2008. V.G35. P.014018; Nucl. Instr. Meth. 2010. V.B268. P.1277-1282.

296. Дубовиченко С.Б. Захват нейтрона на возбужденные состояния ядра ${}^9\text{Be}$ с учетом резонанса при 622 кэВ // ЖЭТФ 2013. Т.144. С.748-755; Dubovichenko S.B. Capture of a neutron to excited states of a ${}^9\text{Be}$ nucleus taking into account resonance at 622 keV // Jour. Experimental and Theoretical Phys. 2013. V.117. P.649-655.

297. Mengoni A., Otsuka T., Ishigara M. Direct radiative capture of p-wave neutrons // Phys. Rev. 1995. V.C52. P.R2334-R2338.

298. Lin C.J. et al. Nonresonant capture cross sections of ${}^{11}\text{B}(n,\gamma)$ and ${}^{12}\text{C}(n,\gamma)$ at stellar energies // Phys. Rev. 2003. V.C68. P.047601(1-4).

299. Likar A., Vidmar T. Direct neutron capture in light nuclei // Nucl. Phys. 1997. V.A619. P.49-56.

300. Kitazawa H. and Go K. Low-energy neutron direct capture by ${}^{12}\text{C}$ in a dispersive optical potential // Phys. Rev. 1998. V.C57. P.202-209.

301. Herndl H., Hofinger R., Oberhummer H. The Cross Section of the Neutron Capture Reaction ${}^{13}\text{C}(n,\gamma){}^{14}\text{C}$ // AIP 1998. V.425. P.428.

302. Shima T. et al. Measurement of the ${}^{13}\text{C}(n,\gamma){}^{14}\text{C}$ cross section at stellar energies // Nucl. Phys. 1997. V.A621. P.231-234.

303. Дубовиченко С.Б. Фазовый анализ упругого $n^{12}\text{C}$ рассеяния при низких энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2012. Т.55. №5. С.79-85; Dubovichenko S.B. Phase shift analysis of the elastic $n^{12}\text{C}$ scattering at low energies // Rus. Phys. J. 2012 V.55. P.561-568.

304. Дубовиченко С.Б. Радиационный захват нейтронов на ${}^{12}\text{C}$ при астрофизических энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2013. Т.56. №8.

- C.16-24; Dubovichenko S.B. Radiative capture of neutrons on ^{12}C at astrophysical energies // *Rus. Phys. J.* 2013. V.56. P.867-877.
305. Wallner A. et al. Measurement of the stellar cross sections for the reactions $^9\text{Be}(n,\gamma)^{10}\text{Be}$ and $^{13}\text{C}(n,\gamma)^{14}\text{C}$ via AMS // *J. Phys.* 2008. V.G35. P.014018-1–014018-7.
306. Allen B.J., Macklin R.L. Neutron Capture Cross Sections of ^{13}C and ^{16}O // *Phys. Rev.* 1971. V.C3. P.1737-1740.
307. Hennig G.R. Thermal Neutron Capture Cross Section of Carbon-13 // *Phys. Rev.* 1954. V.95. P.92-95.
308. Bao Z.Y. et al. Neutron cross sections for nucleosynthesis studies // *Atom. Nucl. Data Tabl.* 2000. V.76. P.70-154.
309. Raman S. et al. Valence capture mechanism in resonance neutron capture by ^{13}C // *Phys. Rev.* 1990. V.C41. P.458-471.
310. Lane R.O. et al. States in ^{14}C from σ_T and $\sigma_{el}(\theta)$ for $^{13}\text{C}+n$: Measurement, R-matrix analysis, and model calculations // *Rhys. Rev.* 1981. V.C23. P.1883-1897.
311. Дубовиченко С.Б. Астрофизический $n^{13}\text{C}$ захват // *Изв. ВУЗов Физика* 2014. Т.57. №1. С.16-21; Dubovichenko S.B. Astrophysical $n^{13}\text{C}$ capture // *Rus. Phys. J.* 2014. V.57. №1.
312. Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Burkova N.A. Cross Sections for the Astrophysical Neutron Radiative Capture on ^{12}C and ^{13}C Nuclei // *J. Nucl. Part. Phys.* 2013. V.3 . №4. P.108-120; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Burkova N.A. Cross Sections for the astrophysical neutron radiative capture on ^{12}C and ^{13}C nuclei // arxiv:1202.1420 [nucl-th].
313. Summers N. C., F. M. Nunes F. M. Extracting (n,γ) direct capture cross sections from Coulomb dissociation: Application to $^{14}\text{C}(n,\gamma)^{15}\text{C}$ // *Phys. Rev.* 2008. V.C78. P.011601(R)(1-5).
314. Mukhamedzhanov A. M. et al. Asymptotic normalization coefficients from the $^{14}\text{C}(d,p)^{15}\text{C}$ reaction // *Phys. Rev.* 2011. V.C84. P.024616(1-6).
315. Nakamura T. et al. Neutron capture cross section of ^{14}C of astrophysical interest studied by Coulomb breakup of ^{15}C // *Phys. Rev.* 2009. V.C79. P.035805(1-6).
316. Beer H. et al. A measurement OF the $^{14}\text{C}(n,\gamma)^{15}\text{C}$ cross section at a

stellar temperature of $KT = 23.3 \text{ Kev}$ // *Astrophys. Jour.* 1992. V.387. P.258.

317. Reifarth R. et al. Stellar neutron capture rates of ^{14}C // *Nucl. Phys.* 2005. V.A758. P.787-790.

318. Reifarth R. et al. The $^{14}\text{C}(n,\gamma)$ cross section between 10 keV and 1 MeV // *Phys. Rev.* 2008. V.C77. P.015804(1-8).

319. Horvath A. et al. Cross section for the astrophysical $^{14}\text{C}(n,\gamma)^{15}\text{C}$ reaction via the inverse reaction// *Astrophys. Jour.* 2002. V.570. P.926-934.

320. Esbensen H. Coulomb dissociation of ^{15}C and radiative neutron capture on ^{14}C // *Phys. Rev.* 2009. V.C80. P.024608(1-8).

321. Дубовиченко С.Б. Радиационный захват нейтронов на ядрах ^2H , ^7Li , ^{14}C и ^{14}N при астрофизических энергиях // *ЯФ* 2013. Т.76. С.894-913; Dubovichenko S.B. Radiative neutron capture by ^2H , ^7Li , ^{14}C , and ^{14}N nuclei at astrophysical energies // *Phys. Atom. Nucl.* 2013. V.76. P.841-861; Afanasyeva N., Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Radiative neutron capture on ^{14}C and ^{14}N // *Jour. Nucl. Energy Science & Power Generation Technol.* 2013. V.2. №3. doi:10.4172/2325-9809.1000112; arXiv:1212.1765 [nucl-th].

322. Journey E.T., Motz H. Thermal neutron capture in ^2H and ^{16}O // *Rep. Argonne Nat. Lab.* 1963. №6797. P.236; Kinsey B. B. et al. Gamma-rays produced by slow neutron capture in beryllium, carbon and nitrogen // *Can. J. Phys.* 1951. V.29. P.1-13; Islam M. A., Kennett T. J., Prestwich W. V. Determination of the thermal radiative capture cross section of ^{14}N // *Nucl. Instr. Meth.* 1981. V.188. P.243-245; Islam T. J., Kennett W. V., Prestwich W. V. Re-estimation of the Thermal Neutron Capture Cross Section of ^{14}N // *Nucl. Instr. Meth.* 1990. V.A287. P.460-464; Egorov A.I. et al. Measurement of thermal neutron radiative capture cross-sections of the ^{14}N and ^{19}N by in-beam // *Nucl. Instr. Meth.* 2005. V.A545. P.296-300.

323. Journey E. T. et al. Thermal-neutron capture by ^{14}N // *Phys. Rev.* 1997. V.C56. P.118-134.

324. Bostrom N. A. et al. Neutron interactions in lithium, carbon, nitrogen, aluminum, argon, manganese, yttrium, zirconium, radiolead and bismuth // *WADC-TN-59-107.* 1959.

325. Дубовиченко С.Б. Радиационный $n^{14}\text{N}$ захват при астрофизических энергиях // *Изв. ВУЗов Физика* 2013. Т.56. №1. С.3-9; Dubovi-

chenko S.B. Radiative $n^{14}\text{N}$ capture at astrophysical energies // *Rus. Phys. J.* 2013. V.56. P.1-8.

326. Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Burkova N.A. Astrophysical S -factor for the radiative capture reaction $^{13}\text{C}(p,\gamma)^{14}\text{N}$ // *Jour. Nucl. Part. Phys.* 2012. V.2. P.6-10.

327. Burkova N.A. Program for calculation of phase shifts // *Private Communication* 2012.

328. Дубовиченко С.Б. Методы расчета ядерных характеристик. Ядерные и термоядерные процессы. Изд. второе, исправленное и дополненное. Saarbrucken, Germany: Lambert Acad. Publ. GmbH&Co. KG. 2012. 425с.; Dubovichenko S.B. Calculation method of the nuclear characteristics. Nuclear and thermonuclear processes. Second edition, revised and updated. Saarbrucken, Germany: Lambert Acad. Publ. GmbH&Co. KG. 2012. 425p.; <https://www.lap-publishing.com/catalog/details//store/ru/book/978-3-659-21137-9/metody-rascheta-yadernyh-kharacteristic>. (in Russian).

329. <http://www.nndc.bnl.gov/exfor/exfor00.htm> .

330. <http://xxx.lanl.gov/find/nucl-ex> .

331. Herndl H. et al. Reaction rates for Neutron Capture Reactions to C-, N- and O-isotopes to the neutron rich side of stability // *Phys. Rev.* 1999. V.C60. P.064614(1-12).

332. Meissner J. et al. Neutron capture cross section of ^{15}N at stellar energies // *Phys. Rev.* 1996. V.C53. P.4.977-981.

333. Дубовиченко С.Б. Радиационный $n^{15}\text{N}$ захват при низких энергиях // *Изв. ВУЗов Физика* 2013. Т.56. №5. С.7-15; Dubovichenko S.B. Radiative $n^{15}\text{N}$ capture at low energies // *Rus. Phys. J.* 2013. V.56. P.494-503; Dubovichenko S.B., Afanasyeva N., Burkova N.A. Radiative neutron capture on ^{15}N // *Phys. Sci. Inter. Jour.* 2014. V.4. №4 P.636-648; Dubovichenko S.B., N.V. Afanasyeva Radiative $n^{15}\text{N}$ capture at Astrophysical Energies // *arXiv:1304.1976v1 [nucl-th]*; Dubovichenko S.B., Afanasyeva N.V. Radiative $n^{15}\text{N}$ capture // *Nucleus* 2013. LXIII Int. Conf. Moscow, 8-12 august 2013. Sanct-Pet. 2013. P.197.

334. Igashira M. et al. Measurement of the $^{16}\text{O}(n,\gamma)^{17}\text{O}$ reaction cross section at stellar energies and critical role of nonresonant P-wave neutron capture // *Astrophys. Jour.* 1995. V.441. P.L89-L92; Igashira M., Kitazawa

H. and Takaura K. Valence-neutron capture in the 434 keV $P_{3/2}$ -wave resonance of ^{16}O // Nucl. Phys. 1992. V.A536. P.285-296.

335. Hickey G. T. et al. R-matrix and Phase-Shift analyses of neutron polarization measurements from n - ^{16}O scattering // Nucl. Phys. 1974. V.A225. P.470-480.

336. Johnson C. H., Fowler J. L. Scattering of neutrons from ^{16}O in the 2.2- to 4.2-MeV energy range // Phys. Rev. 1967. V.162. P.890-899.

337. Fowler J.L., Cohn H.O. Oxygen differential neutron scattering and phenomenological nuclear potentials // Phys. Rev. 1958. V.109. P.89-93.

338. Okazaki A. Scattering of polarized neutrons by heavy nuclei // Phys. Rev. 1955. V.99. P.55-58.

339. Schouky I. Untersuchung der niveaustuktur von ^{17}O und ^{29}Si im bereich zwischen neutronenbindungsenergie und 12 MeV anregungsenergie // KFK-2503. 7708.

340. Kitazawa H., Igashira M. and Ohsaki T. Folded-Potential Model Calculation of Low Energy Neutron Direct-Capture Cross Sections // CP529, Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics: 10th Int'l. Symp., edited by S. Wender, 2000, American Institute of Physics 1-56396-952-1/007.

341. Dufour M., Descouvemont P. Microscopic analysis of the $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$ and $^{16}\text{O}(n,\gamma)^{17}\text{O}$ reactions // Nucl. Phys. 2001. V.A694. P.221-232; Multichannel study of the $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$ and $^{16}\text{O}(n,\gamma)^{17}\text{O}$ reactions // Phys. Rev. 2005. V.C72. P.015801(1-7).

342. Yamamoto K. et al. Radiative capture cross section for $^{16}\text{O}(n,\gamma)^{17}\text{O}$ and $^{16}\text{O}(p,\gamma)^{17}\text{F}$ below astrophysical energies // Prog. Theor. Phys. 2009. V.121. P.375-390.

343. McDonald A. B. et al. Doubly radiative thermal neutron capture in ^2H and ^{16}O experiment and theory // Nucl. Phys. 1977. V.A281. P.325-344; Wust N., Seyfarth H. and Aldea L. Two-quantum radiative thermal neutron capture in H1 // Phys. Rev. 1970. V.C19. P.1153-1158.

344. Дубовиченко С.Б. Радиационный $n^{16}\text{O}$ захват при низких энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2014. №4. (В печати); Dubovichenko S.B. Radiative $n^{16}\text{O}$ capture at low energies // Rus. Phys. J. 2014. №4. (In press).

345. Esmakhanova K. et al. Dark energy in some integrable and nonin-

tegrable FRW cosmological models // International journal of modern physics. 2011. V.D20. №12. P.2419-2446.

346. Chechin L.M. Antigravitational instability of cosmic substrate in the Newtonian cosmology // Chinese Physics Letters. 2006. V.23. №8. P.2344-2347.

347. Chechin L. M. The cosmic vacuum and the rotation of galaxies // Astronomy Reports. 2010. V.54. №8. P.719-723.

348. White M., Scott D., Silk J. Anisotropies in the Cosmic Microwave Background // Ann. Rev. Astron. & Astrophys. 1994. V.32. P.319.

349. Chechin L.M., Myrzakul Sh.R. The development of perturbations in the universe described by the nonstationary equation of state // Rus. Phys. Jour. 2009. V.52. P.286.

350. Omarov T., Chechin L.M. On the dynamics of two oscillating cosmic strings // Gen. Relativ. Grav. 1999. V.31. P.443.

351. Igashira M. et al. Measurements of keV-neutrons capture gamma rays // Conf. Meas. Calc. and Eval. of Photon Prod. Data. Bologna. 1994. P.269-279.

352. Lamaze G.P., Schrack R.A. and Wasson O.A. A new measurements of the ${}^6\text{Li}(n,\alpha)$ cross section // Nucl. Sci. Eng. 1978. V. 68. P.183-188.

353. Kelley J.H. et al. Energy level of light nuclei $A = 11$ // Nucl. Phys. 2012. V. A880. P.88-195.

354. Yarmukhamedov R. Determination of ANC for $n^{10}\text{B}$ channel in ${}^{11}\text{B}$ nucleus by ${}^{10}\text{B}(d,p){}^{11}\text{B}$ reaction at $E_d = 12$ MeV. // Private Communication 2013.

355. Авотина М.П., Золотавин А.В. Моменты основных и возбужденных состояний ядер. М: Атомиздат, 1979.; Avotina M.P., Zolotavin A.V. Moments of the ground and excited states of nuclei. M: Atomizdat. 1979.

356. Bartholomew G.A., Champion P.J. Neutron capture gamma rays from lithium, boron and nitrogen // Can. J. Phys. 1957. V.35. P.1347-1360.

357. Дубовиченко С.Б. Радиационный $n^{10}\text{B}$ захват при астрофизических энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2014. (В печати); Dubovichenko S.B. Radiation $n^{10}\text{B}$ capture at astrophysical energies // Rus. Phys. J. 2014. (In press).

358. Mughabghab S.F. Atlas of neutron resonances. National Nuclear Data Center. Brookhaven. National Laboratory. Upton, USA 2006. 1008p.
359. Mooring F.P. et al. $^{11}\text{B}(n,\gamma)^{12}\text{B}$ cross section at low energies // Argonne National Laboratory 1964. №6877. P.5.
360. Imhof W.L. et al. Cross Sections for the $^{11}\text{B}(n,\gamma)^{12}\text{B}$ Reaction // Phys. Rev. 1962. V.125. P.1334-1336.
361. Dubovichenko S.B., Burkova N.A. Radiative $n^{11}\text{B}$ capture at astrophysical energies // Mod. Phys. Lett. 2014.V.A29. №7. P.1450036(1-14); Дубовиченко С.Б. Радиационный $n^{11}\text{B}$ захват при астрофизических энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2014. (В печати); Dubovichenko S.B. Radiation $n^{11}\text{B}$ capture at astrophysical energies // Rus. Phys. J. 2014. (In press).
362. Artemov S.V. et al. Estimates of the astrophysical S -factors for proton radiative capture by ^{10}B and ^{24}Mg nuclei using the anc from proton transfer reactions // Int. Jour. Mod. Phys. 2010. V.E19. P.1102-1108.
363. Wiescher M. et al. ^{11}C level structure via the $^{10}\text{B}(p,\gamma)$ reaction // Phys. Rev. 1983. V.C28. P.1431-1442.
364. Tonchev A.P. et al. The $^{10}\text{B}(p,\gamma)^{11}\text{C}$ reaction at astrophysically relevant energies // Phys. Rev. 2003. V.C68. P.045803(1-12).
365. Дубовиченко С.Б., Адильбеков Д.Н., Ткаченко А.С. Радиационный захват протона на ^{10}B . I. // Изв. НАН РК. Сер. физ.-мат. 2014. №3. (В печати); Dubovichenko S.B., Adilbekov D.N., Tkachenko A.S. Radiative proton capture on ^{10}B . I. // Bul. NAS Ser. Phys.-Mat. 2014. №3. (In press); Дубовиченко С.Б., Адильбеков Д.Н., Ткаченко А.С. Радиационный захват протона на ^{10}B . II. // Изв. НАН РК. Сер. физ.-мат. 2014. №3. (В печати); Dubovichenko S.B., Adilbekov D.N., Tkachenko A.S. Radiative proton capture on ^{10}B . II. // Bul. NAS Ser. Phys.-Mat. 2014. №3. (In press); Дубовиченко С.Б., Адильбеков Д.Н., Ткаченко А.С. Радиационный захват протона на ^{10}B . III. // Изв. НАН РК. Сер. физ.-мат. 2014. №3. (В печати); Dubovichenko S.B., Adilbekov D.N., Tkachenko A.S. Radiative proton capture on ^{10}B . III. // Bul. NAS Ser. Phys.-Mat. 2014. №3. (In press).
366. Kelley J.H. et al. The $^{11}\text{B}(p\rightarrow,\gamma)^{12}\text{C}$ reaction below 100 keV // Phys. Rev. 2000. V.C62. P.025803(1-6).
367. Anderson B.D. et al. A new determination of the partial widths of

- the 16.11 MeV state in ^{12}C // Nucl. Phys. 1974. V.A233. P.286-296.
368. Cecil F.E. et al. Radiative capture of protons by light nuclei at low energies // Nucl. Phys. 1992. V.A539. P.75-96.
369. Huus T., Day R.B. The Gamma Radiation from ^{11}B Bombarded by Protons // Phys. Rev. 1953. V.91. P.599-605.
370. Segel R.E., Hanna S.S., Allas R.G. States in ^{12}C Between 16.4 and 19.6 MeV // Phys. Rev. 1965. V.139. P.B818-B830.
371. Allas R.G. et al. Radiative capture of protons by ^{11}B and the giant dipole resonance in ^{12}C // Nucl. Phys. 1964. V.58. P.122-144.
372. Дубовиченко С.Б. Астрофизический захват протонов ядром ^{11}B // Изв. ВУЗов Физика 2014. (В печати); Dubovichenko S.B. Astrophysical proton capture by ^{11}B nucleus // Rus. Phys. J. 2014. (In press).
373. Yarmukhamedov R. et al. Asymptotic normalization coefficients for $A+a \rightarrow B$ and the R-matrix method of analysis of nuclear-astrophysical radiative capture $A(a, \gamma)B$ reactions // Uzbek. J. Phys. 2010. V. 12. №4-6. P. 233-247.
374. King J.D. et al. Cross section and astrophysical S-factor for the $^{13}\text{C}(p, \gamma)^{14}\text{N}$ reaction // Nucl. Phys. 1994. V. A567. P. 354-376.
375. Mukhamedzhanov A.M. et al. Asymptotic normalization coefficients from proton transfer reactions and astrophysical S factors for the CNO $^{13}\text{C}(p, \gamma)^{14}\text{N}$ radiative capture process // Nucl. Phys. 2003. V. A725. P. 279-294.
376. Mukhamedzhanov A.M. et al. Astrophysical S factor for $^{13}\text{C}(p, \gamma)^{14}\text{N}$ and asymptotic normalization coefficients // Phys. Rev. 2002. V. C66. P. 027602(1-4).
377. Caughlan G.R., Fowler W.A. Thermonuclear reaction rates V // At. Data Nucl. Data Tables 1988. V. 40. P. 283-334.
378. Artemov S.V. et al. Nuclear Asymptotic Normalization Coefficients for $^{14}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C} + p$ Configurations and Astrophysical S Factor for Radiative Proton Capture // Phys. Atom. Nucl. 2008. V. 71. P. 998-1011.
379. Applegate J.H. and Hogan C.J. Relics of cosmic quark condensation // Phys. Rev. 1985. V.D31. P.3037-3045.
380. Applegate J.H., Hogan C.J. and Scherer R.J. Codmological quantum chromodynamics, neutron diffusion, and the production of primordial heavy elements // Astrophys. J. 1988. V.329. P.572-579.

381. Malaney R.A. and Fowler W.A. Late-time neutron diffusion and nucleosynthesis in a post-QCD inhomogeneous $\Omega=1$ Universe // *Astrophys. J.* 1988. V.333. P.14-20.
382. Gorres J. et al. Proton capture on ^{14}C and its astrophysical implications // *Nucl. Phys.* 1990. V.A517. P.329-339.
383. Yaffe L. and Stevens W.H. The reaction $^{14}\text{C}(n,\gamma)^{15}\text{C}$ // *Phys. Rev.* 1950. V.79. P.893-893.
384. Fowler W.A., Caughlan G.E. and Zimmermann B.A. Thermonuclear Reaction Rates, II // *Ann. Rev. Astron. & Astrophys.* 1975. V.13. P.69-112.
385. Дубовиченко С.Б. и др. Астрофизический S -фактор радиационного $p^{14}\text{C}$ захвата при низких энергиях // *Изв. ВУЗов Физика* 2014. (В печати); Dubovichenko S.B. et al. Astrophysical S -factor $p^{14}\text{C}$ radiative capture at low energies // *Rus. Phys. J.* 2014. (In press); Dubovichenko S.B. et al. Astrophysical S -factor of the radiative proton capture on ^{14}C at low energies // arXiv:1402.5236v1 [nucl-th].
386. Rolfs C. et al. Proton capture by ^{15}N at stellar energies // *Nucl. Phys.* 1974. V.A235. P.450-459.
387. Ajzenberg-Selove F. Energy levels of light nuclei $A=16,17$ // *Nucl. Phys.* 1993. V.A564. P.1-183.
388. Mukhamedzhanov A.M., Cognata M.L., and Kroha V. Astrophysical S factor for the $^{15}\text{N}(p,\gamma)^{16}\text{O}$ reaction // *Phys. Rev.* 2011. V.C83. P.044604(1-11).
389. Mukhamedzhanov A.M. // Private Communication 2013.
390. Caciolli A. et al. Revision of the $^{15}\text{N}(p,\gamma)^{16}\text{O}$ reaction rate and oxygen abundance in H-burning zones // arXiv:1107.4514v1 [astro-ph.SR] 22 Jul 2011.
391. Bemmerer D. et al. Direct measurement of the $^{15}\text{N}(p,\gamma)^{16}\text{O}$ total cross section at novae energies // *Jour. Phys.* 2009. V.G36. P.045202(1-10).
392. LeBlanc P.J. et al. Constraining the S factor of $^{15}\text{N}(p,\gamma)^{16}\text{O}$ at astrophysical energies // *Phys. Rev.* 2010. V.C82. P.055804(1-10).
393. Дубовиченко С.Б. и др. Радиационный $p^{15}\text{N}$ захват в области астрофизических энергий // *Изв. ВУЗов Физика* 2014. (В печати); Dubovichenko S.B. et al. Radiative $p^{15}\text{N}$ capture in the astrophysical en-

ergy region // *Rus. Phys. J.* 2014. (In press).

394. Bashkin S., Carlson R.R., Douglas R.A. Cross Sections for Elastic Scattering and Reactions Due to Protons on ^{15}N // *Phys. Rev.* 1958. V.114. P.1543-1551.

395. Дубовиченко С.Б. Избранные методы ядерной астрофизики. Серия "Казахстанские космические исследования". Т.9. Алматы. АФИФ. 2011. 311с.; Dubovichenko S.B. Selected methods of the nuclear astrophysics. First edition. Series "Kazakhstan space research". V.9. Almaty: АФИ. 2011. 311p.; <http://xxx.lanl.gov/abs/1201.3003>. (in Russian).

396. Дубовиченко С.Б. Избранные методы ядерной астрофизики. Первое европейское издание, исправленное и дополненное Saarbrücken, Germany: Lambert Acad. Publ. GmbH&Co. KG. 2012. 361с.; Dubovichenko S.B. Selected methods of the nuclear astrophysics. Second edition, revised and updated. Saarbrücken, Germany: Lambert Acad. Publ. GmbH&Co. KG. 2012. 361p.; <https://www.lap-publishing.com/catalog/details/store/gb/book/978-3-8465-8905-2/izbrannye-metody-yadernoy-astrofiki>. (in Russian).

397. Дубовиченко С.Б. Избранные методы ядерной астрофизики. Второе европейское издание, исправленное и дополненное. . Saarbrücken, Germany. Lambert Acad. Publ. GmbH&Co. KG. 2013. 480с.; Dubovichenko S.B. Selected methods of the nuclear astrophysics. Third edition, revised and updated. Saarbrücken, Germany: Lambert Acad. Publ. GmbH&Co. KG. 2013. 480p.; <https://www.lap-publishing.com/catalog/details/store/es/book/978-3-659-34710-8/izbrannye-metody-yadernoy-astrofiki>. (in Russian).

398. Кукулин В.И., Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф., Эль-Ховари Р. Роль принципа Паули в формировании оптических потенциалов // *Изв. АН СССР сер. физ.* 1974. Т. 38. С. 2123-2128.

399. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Справочная математическая библиотека. Матрицы и вычисления. М: Физ. мат. лит., 1984. 318с.

400. Дубовиченко С.Б., Чечин Л.М. Вариационные методы решения уравнения Шредингера // *Вестник АГУ физ.-мат. сер.* 2003. №.2(8). С.50-58.

Люблю **КНИГИ**
ljubljudknigi.ru



yes
i want morebooks!

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн - в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов! Мы используем экологически безопасную технологию "Печать-на-Заказ".

Покупайте Ваши книги на
www.ljubljudknigi.ru

Buy your books fast and straightforward online - at one of world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.get-morebooks.com

VDM Verlagsservicegesellschaft mbH

Heinrich-Böcking-Str. 6-8
D - 66121 Saarbrücken

Telefon: +49 681 3720 174
Telefax: +49 681 3720 1749

info@vdm-vsg.de
www.vdm-vsg.de