

Второе, исправленное и дополненное, издание книги также посвящено некоторым избранным вопросам ядерной физики и ядерной астрофизики легких атомных ядер и термоядерных процессов первичного нуклеосинтеза. 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 квантовых частиц. Вторая – методам поиска, 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. Потенциалы такого типа используются далее в определенных задачах ядерной астрофизики. И в четвертой рассматриваются процессы радиационного захвата нейтронов при астрофизических и низких энергиях на некоторых легких атомных ядрах.

Избранные методы ядерной астрофизики



Сергей Дубовиченко

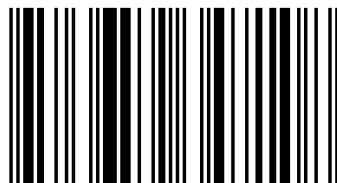
Избранные методы ядерной астрофизики

Первичный нуклеосинтез Вселенной



Сергей Дубовиченко

Академик Международной Академии Информатизации (РК), Член-корреспондент Российской Академии Естественных наук, Доктор физ.-мат. наук (РК и РФ), Профессор, Член Европейского физического общества, Член Американского физического общества, Лауреат Золотой Медали Евросоюза, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова "НЦКИТ" НКА РК, Алматы, Казахстан



978-3-659-34710-8

Дубовиченко



Сергей Дубовиченко

Избранные методы ядерной астрофизики

Сергей Дубовиченко

**Избранные методы ядерной
астрофизики**

Первичный нуклеосинтез Вселенной

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

AV Akademikerverlag 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: 978-3-659-34710-8

Copyright / АВТОРСКОЕ ПРАВО © 2013 AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Все права защищены. Saarbrücken 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	9
I. МЕТОДЫ РАСЧЕТА	15
<i>Введение</i>	15
1.1 Обзор возможностей кластерной модели.....	17
1.2 Потенциалы и волновые функции	25
1.3 Методы фазового анализа	27
1.4 Некоторые численные методы	29
1.5 Обобщенная матричная задача на собственные значения	35
1.6 Общие принципы трехтельной модели.....	43
1.7 Вариационные методы трехтельной модели	44
1.8 Полные сечения радиационного захвата	48
1.9 Построение межкластерных потенциалов	50
<i>Заключение</i>	53
II. ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ	55
<i>Введение</i>	55
2.1 Фазовый анализ упругого ${}^4\text{He}^4\text{He}$ рассеяния	57
2.1.1 Обзор эксперимента по упругому ${}^4\text{He}^4\text{He}$ рассеянию.....	57
2.1.2 Методы фазового анализа упругого ${}^4\text{He}^4\text{He}$ рассеяния	59
2.1.3 Проверка компьютерной программы	61
2.1.4 Результаты фазового анализа упругого ${}^4\text{He}^4\text{He}$ рассеяния	64
2.1.5 Программа для ${}^4\text{He}^4\text{He}$ и ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ фазового анализа	80
2.2 Фазовый анализ упругого ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ рассеяния	95
2.2.1 Дифференциальные сечения.....	95
2.2.2 Фазовый анализ	96
2.3 Фазовый анализ упругого $p^{12}\text{C}$ и $n^{12}\text{C}$ рассеяния.....	110
2.3.1 Дифференциальные сечения.....	110
2.3.2 Контроль компьютерной программы	113
2.3.3 Фазовый анализ $p^{12}\text{C}$ рассеяния.....	117
2.3.4 Фазовый анализ упругого $n^{12}\text{C}$ рассеяния.....	122
2.3.5 Программа для $n^{12}\text{C}$ и $p^{12}\text{C}$ фазового анализа	129
2.4 Фазовый анализ упругого $p^6\text{Li}$ рассеяния	141

2.4.1 Дифференциальные сечения.....	141
2.4.2 Фазовый анализ.....	142
2.4.3 Программа для фазового анализа.....	148
2.5 <i>Фазовый анализ и компьютерные программы для рассеяния частиц со спином $1/2+1/2$</i>	160
2.5.1 Система со спин-орбитальным взаимодействием.....	160
2.5.2 Система со спин-орбитой и синглет-триплетным смешиванием.....	177
2.5.3 Фазовый анализ упругого $p^{13}\text{C}$ рассеяния с учетом спин-орбиты.....	200
<i>Заключение</i>	206
III. ТРЕХТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ.....	207
<i>Введение</i>	207
3.1 <i>Трехтельные конфигурации ядра ${}^7\text{Li}$ и трехтельная программа</i>	209
3.1.1 Потенциалы и фазы.....	209
3.1.2 Компьютерная программа.....	213
3.1.3 Трехтельные результаты.....	233
3.2 <i>Трехтельная модель ядра ${}^9\text{Be}$</i>	238
3.2.1 Потенциалы и фазы рассеяния.....	238
3.2.2 Трехтельные результаты и фотосечения.....	240
3.3 <i>Трехкластерная структура ${}^{11}\text{B}$</i>	248
3.3.1 Потенциалы и фазы.....	249
3.3.2 Трехтельные результаты.....	251
<i>Заключение</i>	263
IV. РАДИАЦИОННЫЙ ЗАХВАТ НЕЙТРОНОВ НА ЛЕГКИХ ЯДРАХ.....	265
<i>Введение</i>	266
4.1 <i>Радиационный захват $n^2\text{H}$ в кластерной модели</i>	272
4.1.1 <i>Потенциальное описание упругого $n^2\text{H}$ рассеяния</i>	272
4.1.2 <i>Полные сечения радиационного $n^2\text{H}$ захвата</i>	276
4.2 <i>Радиационный $n^6\text{Li}$ захват</i>	282
4.2.1 <i>Потенциальное описание $n^6\text{Li}$ рассеяния</i>	282
4.2.2 <i>Полные сечения радиационного $n^6\text{Li}$ захвата</i>	287
4.3 <i>Кластерная $n^7\text{Li}$ система</i>	296
4.3.1 <i>Классификация кластерных состояний в $n^7\text{Li}$ системе</i>	296

4.3.2 Потенциальное описание упругого $n^7\text{Li}$ рассеяния.....	299
4.3.3 Радиационный ${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$ захват.....	308
4.4 Астрофизический $n^9\text{Be}$ захват.....	314
4.4.1 Классификация орбитальных состояний в $n^9\text{Be}$ системе.....	314
4.4.2 Потенциальное описание $n^9\text{Be}$ фаз рассеяния.....	317
4.4.3 Полные сечения $n^9\text{Be}$ захвата.....	324
4.5 Радиационный захват в $n^{12}\text{C}$ и $n^{13}\text{C}$ системах.....	330
4.5.1 Полные сечения $n^{12}\text{C}$ захвата.....	330
4.5.2 Полные сечения $n^{13}\text{C}$ захвата.....	342
4.6. Радиационный захват в $n^{14}\text{C}$ и $n^{14}\text{N}$ системах.....	352
4.6.1. Классификация $n^{14}\text{N}$ и $n^{14}\text{C}$ состояний и потенциалы $n^{14}\text{C}$ рассеяния.....	352
4.6.2. Полные сечения $n^{14}\text{C}$ захвата.....	356
4.6.3. Потенциалы $n^{14}\text{N}$ рассеяния.....	360
4.6.4. Полные сечения $n^{14}\text{N}$ захвата.....	365
4.7 Радиационный $n^{15}\text{N}$ захват.....	368
4.7.1 Потенциалы $n^{15}\text{N}$ рассеяния.....	368
4.7.2 Полные сечения $n^{15}\text{N}$ захвата.....	376
4.8 Радиационный захват в $n^{16}\text{O}$ системе.....	387
4.8.1 Фазы и потенциалы $n^{16}\text{O}$ рассеяния.....	388
4.8.2 Полные сечения радиационного захвата.....	395
4.9 Компьютерная программа для расчетов полных сечений радиационного захвата.....	404
Заключение.....	429
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	435
БЛАГОДАРНОСТИ.....	439
ЛИТЕРАТУРА.....	441

"Избранные методы ядерной астрофизики"

2013г.

Издание второе, исправленное и дополненное

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, Россия),

д.ф.-м.н., профессор **Ишханов Б.С.**

(МГУ, Москва, Россия),

Лауреат государственной премии РК, академик НИА РК,

д.ф.-м.н., профессор **Данаев Н.Т.**

(КазНУ, 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),

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

(КазНУ, Алматы, РК),

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

(ОИЯИ, Дубна, Россия)

ПРЕДИСЛОВИЕ

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 [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 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, например, низких энергий, в частности!

Одним из исключительно успешных направлений развития ядерной физики в последние 50 лет стала микроскопическая модель под названием "Метод Резонирующих Групп" (МРГ, см., например, [6,7]). А также связанные с ней модели, например, метод генераторной координаты (МГК, см., в частности, [8]) или алгебраической версии МРГ [9]. Такой очевидный успех привел большинство физиков к представлению, что только в этом направлении будет возможно дальнейшее получение новых ре-

зультатов 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 и астрофизических энергиях.

Однако до сих пор не полностью исследованы возможности простых потенциальных двухкластерных моделей (ПКМ), особенно, если они используют концепцию запрещенных состояний (ЗС) [10] и непосредственно учитывают резонансное поведение фаз упругого рассеяния взаимодействующих частиц при низких энергиях [11]. Далекое не всегда для объяснения имеющихся экспериментальных фактов требуются сравнительно сложные МРГ вычисления. Для рассмотрения многих задач достаточно использовать простую ПКМ с ЗС, учитывающую классификацию орбитальных состояний по схемам Юнга и резонансное поведение фаз упругого рассеяния. Такой подход, как будет видно далее, во многих случаях позволяет получить вполне адекватные результаты при описании многих экспериментальных исследований [10,11].

Поэтому здесь, продолжая рассмотрение термоядерных процессов, протекающих в различных объектах Вселенной на разных стадиях ее формирования и развития [11], представлены новые достижения в области исследований термоядерных реакций при сверхнизких и низких, т.е. тепловых и астрофизических энергиях и методов их анализа с точки зрения общих законов, подходов и принципов современной ядерной физики. В качестве ядерной модели используется ПКМ и ЗС, которая позволяет рассматривать некоторые термоядерные процессы, а именно, реакции радиационного захвата нейтронов, на основе единых представлений, критериев и методов. Будут рассмотрены некоторые методы решения определенных задач ядерной астрофизики, а именно, термоядерных процессов первичного нуклеосинтеза Вселенной при астрофизических энергиях. Они, кроме того, могут использоваться для описания термоядерных реакций на Солнце и звездах, т.е. рассматриваются некоторые

ядерные реакции при низких и сверхнизких энергиях [11].

Книга основана на результатах, примерно, трех-четыре десятков научных статей, опубликованных, в основном, за последние пять-семь лет в России, Европе, США и СНГ и состоит из четырех 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 в рамках 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 $p^3\text{He}$, $p^6\text{Li}$, $p^{12}\text{C}$, $n^{12}\text{C}$, $p^{13}\text{C}$, $n^{16}\text{O}$ (эта система рассмотрена в четвертой главе), $^4\text{He}^4\text{He}$ и $^4\text{He}^{12}\text{C}$ при астрофизических энергиях. Эти результаты используются для построения парных межкластерных потенциалов взаимодействия в непрерывном и дискретном спектре. Полученные таким образом потенциалы используются далее для расчетов некоторых основных характеристик термоядерных процессов первичного нуклеосинтеза Вселенной [3].

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

И, наконец, четвертая глава посвящена описанию результа-

тов, полученных в рамках потенциальной кластерной модели, для радиационного захвата нейтронов тепловых и астрофизических энергий на некоторых легких атомных ядрах в широкой энергетической области, охватывающей 7-9 порядков по энергии.

В результате рассматриваются все наиболее существенные этапы построения, на основе экспериментальных данных, двухчастичных потенциалов, требуемых в дальнейшем для проведения 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 и развития нашей Вселенной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате многочисленных экспериментальных и теоретических исследований было показано, что именно кластерная модель позволяет успешно объяснять многие характеристики легких атомных ядер, структура которых представляется в двух- или трехчастичных каналах [10].

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 кластерной модели некоторых важных характеристик термоядерных процессов низких и сверхнизких энергий [21]. Однако для выполнения реальных расчетов ядерных характеристик термоядерных реакций, например, сечений радиационного захвата, при решении уравнения Шредингера нужно знать потенциалы взаимодействия между легкими ядерными частицами – кластерами, которые участвуют в рассматриваемых процессах [11]. 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, используемой здесь потенциальной кластерной модели с запрещенными состояниями [11].

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. учитывается наличие резонансных состояний. Используемая классификация орбитальных состояний по схемам Юнга, в том виде, в

котором она рассматривается в настоящей книге и более подробно описанная в работах [18,172,173], позволяет определять число разрешенных и запрещенных состояний. Это значит, что по энергии резонанса можно однозначно фиксировать глубину парциального потенциала, позволяющего правильно описать парциальную фазу 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 [172,173]. 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 состоянии 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 [10,15,18]. 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 [172,173], присущих известной оптической модели [91], 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 низких и сверхнизких энергий [11].

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 и приведены в следующих обзорах и книгах [15-19,21,25,32,40,172,173,308,329,330]. 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 [17].

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 [20,90,211]. 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 [11,172,173].

И, наконец, в четвертой главе данной книги приведены результаты расчетов полных сечений радиационного захвата нейтронов 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 функциями простого вида, что облегчает их дальнейшее

применение в задачах прикладного характера. Эти реакции обычно входят в процессы первичного нуклеосинтеза, происшедшего во Вселенной на разных стадиях ее образования, формирования и развития.

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 термоядерных реакций, которые определяют образование, развитие, структуру и существование всей нашей Вселенной, наблюдаемой в настоящее время [172,173].

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает большую признательность проф. Мухамеджанову А.М (Техасский А&М университет, Техас, США), проф. Страковскому И.И. (Университет Дж. Вашингтона, Вашингтон, DC, США), проф. Блохинцеву Л.Д., проф. Ишханову Б.С. и проф. Неудачину В.Г. (НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия), проф. Багрову В.Г. (ТГУ, Томск, Россия), проф. Дуйсебаеву А.Д. и проф. Буртебаеву Н.Т. (Институт ядерной физики РК, Алматы, Казахстан), проф. Данаеву Н.Т. (Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан), проф. Чечину Л.М. (Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан) и проф. Ярмухамедову Р. (Институт ядерной физики, Ташкент, АН Узбекистана) за очень ценные обсуждения отдельных вопросов, которые были рассмотрены данной в книге.

Следует особо отметить неоценимое содействие данной работе со стороны научного консультанта книги Академика Национальной Академии Наук РК, д.ф.-м.н., проф. Боос Э.Г. (Физико-технический институт, Алматы, Казахстан). Необходимо также отметить огромный вклад проф. Бурковой Н.А. (Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан) и проф. Узиков Ю.Н. (Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия), которые сделали целый ряд полезных замечаний, правок и дополнений при редактировании книги.

Выполнение данной работы частично поддерживалось грантами "Программы фундаментальных исследований" (ПФИ) Министерства образования и науки (МОН) Республики Казахстан (РК) через Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова "НЦКИТ" НКА РК. В связи с этим, выражаю искреннюю благодарность президенту "НЦКИТ" НКА РК проф. Жантаеву Ж.Ш. за постоянное содействие и поддержку всей тематики по Ядерной астрофизике, а также директору Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова Омарову Ч.Т. за неоценимую помощь при первом издании данной книги в Алматы в серии «Казахстанские

космические исследования. Т.9». 2011г. 311с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капитонов И.М., Ишханов Б.С., Тутын И.А. Нуклеосинтез во Вселенной. М.: Либликом. 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. <http://www.astronet.ru/db/msg/1199352/experiments/exper2.html>;
<http://www.scientific.ru/journal/news/0702/n140702.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. Descouvemont P., Dufour M. Microscopic cluster model // In: Clusters in Nuclei. V.2. Editor C. Beck. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 2012. 353p.
9. 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.
10. Немец О.Ф. и др. Нуклонные ассоциации в атомных ядрах и

ядерные реакции многоуклонных 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).

11. 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).

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

13. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М.: Наука. 1984. 384с.; Shklovskii I.S. Stars: birth, life and death. Moscow: Nauka. 1984. 384p. (in Russian).

14. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Структура 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).

15. 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.

16. 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.

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

18. 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).

19. 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.

20. Дубовиченко С.Б. Трехтельная модель ядра ^{11}B // ЖЭТФ 2011. Т.140. С.256-262; Dubovichenko S.B. A three body model of the ^{11}B nucleus // Journal of Experimental and Theoretical Physics 2011. V.113. P.221–226.

21. 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).

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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).

26. 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.

27. 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).

28. 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.

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

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

31. 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).

32. 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.

33. 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.

34. 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 clus-

ter models with forbidden states // Bull. Acad. Sci. KazSSR ser. phys.-math. 1987. №4. P.55-64.

35. 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.

36. 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.

37. 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.

38. 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.

39. 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.

40. 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.

41. Искра В. и др. Интерференция различных потенциальных ам-

плитуд во взаимном рассеянии легчайших кластеров // УФЖ 1988. Т.32. С.1141-1147.

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

43. 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.

44. 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.

45. 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.

46. Neudatchin V.G., Sakharuk A.A., Dubovichenko S.B. Photodisintegration of ${}^4\text{He}$ and supermultiplet potential model of cluster-cluster interaction // Few Body Sys. 1995. V.18. P.159-172.

47. 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.

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

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

50. Дубовиченко С.Б. Фотопроцессы в $N{}^2\text{H}$ 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., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Analysis of photonuclear processes in the $N{}^2\text{H}$ 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.

51. Дубовиченко С.Б. Фотопроцессы в dd канале ядра ${}^4\text{He}$ на основе потенциальной кластерной модели // ЯФ 1995. Т.58. С.1973-1979; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Description of photoprocesses in the dd channel of the ${}^4\text{He}$ nucleus in potential cluster models // Phys. Atom. Nucl. 1995. V.58. P.1866-1872.

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

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

54. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Кахраманов А.В. Потенциальное описание упругого $\alpha\alpha$, ${}^2\text{H}^6\text{Li}$ и $N^7\text{Li}$ 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 $N^7\text{Li}$ scattering // Sov. J. Nucl. Phys. 1992. V.55. P.1632-1636.

55. 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.

56. Дубовиченко С.Б. Фоторазвал ядра ${}^7\text{Li}$ в $n^6\text{Li}$ 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 $n^6\text{Li}$ channel in the potential cluster model involving forbidden states // Phys. Atom. Nucl. 1997. V.60. P.195-199.

57. 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.

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

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

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

61. Kukulin 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.

62. Kukulin 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.

63. Kukulin 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.

64. 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.

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

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

67. 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.

68. Kukulin 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.

69. 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.

70. Neudatchin V.G. et al. Attractive potential with forbidden states for

the NN interaction // Phys. Rev. 1975. V.C11. P.128-135.

71. Дубовиченко С.Б., Жусупов М.А. Описание NN взаимодействий потенциалом с запрещенными состояниями // Изв. АН Каз.ССР 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.

72. 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.

73. 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.

74. 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.

75. 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.

76. 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.

77. 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.

78. 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.

79. 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).

80. 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).

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

82. Троицкий В.А. Инженерные расчеты на ЭВМ. Л.: Машиностроение. 1979. 287с.; Troizkii V.A. Engineering calculations on a computer. Leningrad: Mechanical Engineering. 1979. 287p. (in Russian).

83. 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.

84. Бабич В.М., и др. Справочная математическая библиотека. Линейные 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).

85. Мэтьюс 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.

86. 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).

87. 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).

88. 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).

89. 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).

90. 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.

91. 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.

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

93. Mukhamedzhanov A.M., Tribble R. E. Connection between asymptotic normalization coefficients, sub threshold bound states, and resonances // Phys. Rev. 1999. V.C59. P.3418-3424.

94. 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.

95. 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.

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

97. 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.

98. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функ-

циям. М.: Наука. 1979. 832с.; Abramowitz M., Stegun I.A. Handbook of mathematical functions. Washington: Nat. bur. Stand. 1964. 1046p.

99. 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.

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

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

102. Melkanoff M. Nuclear optical model calculations // Meth. in Comput. Phys. New-York: Acad. Press. 1966. V.6. P.1-80.

103. Gody W.J., Hillstrom K.E. Chebyshev approximations for the coulomb phase shifts // Meth. Comput. 1970. V.111. P.671-677.

104. Smith W.R. Nuclear penetrability and phase shift subroutine // Usics Communs. 1969. V.1. P.106-112.

105. Froberg C.E. Numerical treatment of Coulomb wave functions // Rev. Mod. Phys. 1955. V.27. P.399-411.

106. Abramowitz M. Tables of Coulomb wave function. V.1. Washington: N.B.S. 1952. 141p.

107. 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).

108. Кузнецов Д.С. Специальные функции. М.: Высшая школа. 1965. 272с.; Kuznetsov D. S. Special functions. Moscow: Vysshaya Shkola. 1965. 272p. (in Russian).

109. 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.

110. 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.

111. 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).

112. 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).

113. 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).

114. 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.

115. 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.

116. 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.

117. 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).

118. Kukulín 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.

119. 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.

120. Мотт Н., Мессеи Г. Теория атомных столкновений. М.: Мир. 1969. 756с.; Mott N., Messey H. The theory of atomic collisions. UK: Clarendon Press. 1965. 858p.

121. 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.

122. 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.

123. http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mud|search_for=atomnuc!

124. Juster F.P. et al. Tritium electromagnetic form factors // Phys. Rev. Lett. 1985. V.55. P.2261-2264.

125. Beck D.H. et al. Tritium form factors at low q // Phys. Rev. 1984. V.C30. P.1403-1408.

126. Sick I. Precise nuclear radii from electron scattering // Phys. Lett. 1982. V.B116. P.212-214.

127. 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.

128. 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.

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

130. Никитиу Ф. Фазовый анализ. М.: Мир. 1983. 416с.; Nichitiu F. Phase shifts analysis in physics. Romania: Acad. Publ. 1980. 416p.

131. 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 ^4He - ^4He scattering at energies of 40–50 MeV // *Rus. Phys. J.* 2007. V.50. P.605-611.

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

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

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

135. 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.

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

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

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

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

140. Darrulat 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.

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

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

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

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

145. 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.

146. Дубовиченко С.Б. Компьютерная программа для фазового анализа упругого ^4He - ^4He 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.

147. 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.

148. 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.

149. Ajzenberg-Selove F. Energy levels of light nuclei $A=5-10$ // Nucl. Phys. 1979. V.A320. P.1-224.

150. Dubovichenko S.B., Burtebayev 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.

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

152. 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.

153. 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.

154. Дубовиченко С.Б. и др. Фазовый анализ упругого ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ рассеяния при энергиях 1.5-6.5 МэВ. // 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.

155. 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.

156. Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В. Астрофизический 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.

157. 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.

158. 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.

159. 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.

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

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

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

163. 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.

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

165. Дубовиченко С.Б. Фазовый анализ $p^{12}\text{C}$ рассеяния при астрофизических энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2008. №11. С.21-27; Dubo-

vichenko S.B. Phase analysis of elastic $p^{12}\text{C}$ scattering for astrophysical energies // *Rus. Phys. J.* 2008. V.51. P.1136-1143.

166. 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.

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

168. 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.

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

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

171. 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.034312-1-034312-5; 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.

172. 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).

173. 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.

174. 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.

175. 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.

176. 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.

177. 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.

178. Baktybaev M.K. et al. The scattering of protons from ^6Li and ^7Li 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 ^6Li , ^7Li , ^{16}O and ^{27}Al nuclei // *The 5th Eurasian Conf. "Nucl. Sci. and its Appl."*. Ankara. Turkey. 2008. P.40.

179. 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.

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

181. 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.

182. Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysi-

cal S-factors of radiative capture of protons on ^2H , ^3H , ^6Li and ^{12}C nuclei // Int. J. Mod. Phys. 2012. V.E21. P.1250039-1–1250039-44; arXiv:1005.1794 [nucl-th].

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

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

185. 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.

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

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

188. 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.

189. 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

190. 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.

191. 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.

192. 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.

193. Dubovichenko S.B. Dzhazairov-Kakhrmanov A.V. Astrophysical S-factor of the radiative $p^2\text{H}$ capture // *Euro. Phys. Jour.* 2009. V.A39. P.139-143; 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 ${}^3\text{H}$ и ${}^7\text{Li}$ // *ЯФ* 2011. Т.74. С.378-390; Dubovichenko S.B. Astrophysical S factors for radiative proton capture by ${}^3\text{H}$ and ${}^7\text{Li}$ nuclei // *Phys. Atom. Nucl.* 2011. V.74. P.358-370.

194. Ali S., Ahmad A.A.Z., Ferdous N. A survey of N^4He interaction // *Prepr. Int. Center for Theor. Phys.* 1984. IC/84/195. 108p.

195. Schmelzbach P. et al. Phase shift analysis of ${}^2\text{H}^4\text{He}$ elastic scattering // *Nucl. Phys.* 1972. V.A184. P.193-213.

196. McIntair L., Haeblerli W. Phase shift analysis of ${}^2\text{H}^4\text{He}$ scattering // *Nucl. Phys.* 1967. V.A91. P.382-398.

197. Bruno M., Cannata F., D'Agostino M., Maroni C., Massa I. Experimental 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.

198. 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.

199. Keller L., Haeblerli 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.

200. 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.

201. Tilley D.R., Weller H.R., Hale G.M. Energy levels of light nuclei A=4 // *Nucl. Phys.* 1992. V.A541. P.1-157.

202. <http://cdfe.sinp.msu.ru/cgi-bin/muh/radchartnucl.cgi>

?zmin=0&zmax=14&tdata=123456

203. 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.

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

205. Mueller P. et al. Nuclear charge radius of ^8He // Phys. Rev. Lett. 2007. V.99. P.252501-252505.

206. 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.

207. 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.

208. 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.

209. 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.

210. Tilley D.R. et al. Energy level of light nuclei. $A=8,9,10$ // Nucl. Phys. 2004. V.A745. P.155-363.

211. Буркова Н.А., Дубовиченко С.Б. Трехтельная $^4\text{He}^3\text{H}^2\text{H}$ модель ядра ^9Be // 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 ^9Be nucleus // Rus. Phys. J. 2008. V.51. P.99-104.

212. Shoda K., Tanaka T. Clusters in the photodisintegration of ^9Be // Phys. Rev. 1999. V.C59. P.239-252.

213. Ali S. and Bodmer A.R. Phenomenological α - α potential // Nucl. Phys. 1966. V.80. P.99-112.

214. Jones C.M. et al. Alpha-alpha scattering in the energies range 5 to

9 MeV // Phys. Rev. 1969. V.117. P.525-530.

215. 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.

216. Brune C.R. et al. Sub-Coulomb α transfers on ^{12}C and the $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$ S-factor // Phys. Rev. Lett. 1999. V.83. P.4025-4028.

217. Ajzenberg-Selove F. Energy level of light nuclei $A=11-12$ // Nucl. Phys. 1990. V.A506. P.1-158.

218. Радиационный захват нейтронов: Справочник / Т.С. Беланова, А.В. Игнатюк, А.Б. Пашенко, В.И. Пляскин. М: Энергоатомиздат, 1986. 248с. (in Russian)

219. Kukulín 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.

220. 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.

221. 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.

222. <http://cdfc.sinp.msu.ru/exfor/index.php>

223. <http://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm>

224. 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.

225. Jarczyk L. et al. (n,γ) spectrum for lithium and beryllium // Helv. Phys. Acta 1961. V.34. P.483-484.

226. Journey E.T. Thermal capture cross sections for ^6Li and ^7Li // U.S. Nucl. Data Comm. 1973. №9. P.109.

227. Chang Su Park, Gwang Min Sun, H.D. Choi Determination of thermal neutron radiative capture cross section of ^6Li // Nucl. Instr. Meth.

2006. V.B245. P.367-370.

228. 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.

229. 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.

230. 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.

231. Jurney E.T., Bendt P.J., Browne J.C. Thermal neutron capture cross section of deuterium // *Phys. Rev.* 1982. V.C25. P.2810-2811.

232. Kikuchi T. et al. Nonresonant direct p- and d-wave neutron capture by ${}^{12}\text{C}$ // *Phys. Rev.* 1998. V.C57. P.2724-2730.

233. Macklin R.L. Neutron Capture by ${}^{12}\text{C}$ at stellar temperatures // *Astrophys. Jour.* 1990. V.357. P.649.

234. 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.

235. Nagai Y. et al. Neutron capture cross sections of light nuclei in primordial nucleosynthesis // *Nucl. Instr. Meth.* 1991. V.B56. P.492-495.

236. 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.

237. Sadeghi H. and Bayegan S. Precision calculation for nucleon capture by deuteron with effective field theory // *Nucl. Phys.* 2005. V.A753. P.291-304.

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

239. 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.

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

241. 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.

242. Schimid 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.

243. 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.

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

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

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

247. Faul D.D. et al. Photodisintegration of ${}^3\text{H}$ and ${}^3\text{He}$ // *Phys. Rev.* 1981. V.C24. P.849-873.

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

249. Дубовиченко С.Б. Радиационный $n^2\text{H}$ захват при низких энергиях // *Изв. ВУЗов Физика* 2012. №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.

250. 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.025804-1-025804-7.

251. Mitev G. et al. Radiative neutron capture by deuterium // *Phys. Rev.* 1986. V.C34. P.389-400.

252. Trail C.C., Raboy S. Neutron capture by deuterium // *ВАН* 1964. V.9. P.176.

253. 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.051303-1-051303-5.

254. Ohsaki T. et al. keV-neutron capture cross sections of light nuclei and nucleosynthesis // *AIP* 2000. V.529 P.458-465.

255. Ohsaki T. et al. First measurement of neutron capture cross section of ${}^6\text{Li}$ at stellar energy // *AIP* 2000. V.529. P.678-680.

256. Su Jun et al. Neutron Spectroscopic Factors of ${}^7\text{Li}$ and Astrophysical ${}^6\text{Li}(n,\gamma){}^7\text{Li}$ Reaction Rates // Chin. Phys. Lett. 2010. V.27. P.052101-1–052101-4.

257. Дубовиченко С.Б. Радиационный захват нейтронов на ядре ${}^6\text{Li}$ при астрофизических энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2012. №11. С.68-76; Dubovichenko S.B. Radiative capture of neutrons by ${}^6\text{Li}$ at astrophysical energies // Rus. Phys. J. 2012. V.55. №11.

258. Мухамеджанов А.М., Тимофеюк Н.К. Микроскопические расчеты вершинных констант отделения нуклона для ядер 1р-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.

259. Nollett K.M., Wiringa R.B. Asymptotic normalization coefficients from ab initio calculations // arXiv:1102.1787v3 [nucl-th].

260. 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.

261. 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.

262. Bramblett R.L. et al. Photoneutron cross sections for ${}^7\text{Li}$ // Proc. of Intern. Conf. Photon. React. Appl. California. 1973. V.1. P.175.

263. Green L., Donahue D.J. Photoneutron cross sections with monoenergetic neutron-capture gamma rays // Phys. Rev. 1964. V.B135. P.B701-B705.

264. 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.

265. Descouvemont P., D. 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.

266. Lakma Fernando, Renato Higa and Gautam Rupak // arXiv:1109.1876v1 [nucl-th].
267. 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.
268. 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.
269. 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.
270. Nagai Y. et al. ${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$ reaction and the S_{17} factor at $E_{\text{c.m.}} > 500$ keV // *Phys. Rev.* 2005. V.C71. P.055803-1–055803-8.
271. 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.
272. Blackmon J.C. et al. Measurement of ${}^7\text{Li}(n,\gamma_0){}^8\text{Li}$ cross sections at $E_n = 1.5\text{--}1340$ eV // *Phys. Rev.* 1996. V.C54. P.383-388.
273. Lynn J.E., Jurney E.T., Raman S. Direct and valence neutron capture by ${}^7\text{Li}$ // *Phys. Rev.* 1991. V.C44. P.764-773.
274. Itzykson C., Nauenberg M. Unitary groups: Representations and decompositions // *Rev. Mod. Phys.* 1966. V.38. P.95-105.
275. Дубовиченко С.Б., Буркова Н.А. Астрофизический $n^9\text{Be}$ захват // *Изв. ВУЗов Физика.* 2013. Т.56. (В печати); Dubovichenko S.B., Burkova N.A. Radiative $n^9\text{Be}$ capture at astrophysical energies // *Rus. Phys. J.* 2013. V.56. (In press).
276. <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Category?view=html&Atomic+and+nuclear.x=78&Atomic+and+nuclear.y=12>.
277. 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).
278. 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).

279. Conneely C.M., Prestwich W.V., Kennett T.J. The thermal neutron capture cross section of ^9Be // Nucl. Inst. Method 1986. V.A248. P.416-418.
280. 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.
281. Mengoni A., Otsuka T., Ishigara M. Direct radiative capture of p-wave neutrons // Phys. Rev. 1995. V.C52. P.R2334-R2338.
282. 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.047601-1-047601-4.
283. Likar A., Vidmar T. Direct neutron capture in light nuclei // Nucl. Phys. 1997. V.A619. P.49-56.
284. Kitazawa H. and Go K. Low-energy neutron direct capture by ^{12}C in a dispersive optical potential // Phys. Rev. 1998. V.C57. P.202-209.
285. 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.
286. 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.
287. 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.
288. 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.
289. Allen B.J., Macklin R.L. Neutron Capture Cross Sections of ^{13}C and ^{16}O // Phys. Rev. 1971. V.C3. P.1737-1740.
290. Hennig G.R. Thermal Neutron Capture Cross Section of Carbon-13 // Phys. Rev. 1954. V.95. P.92-95.
291. Bao Z.Y. et al. Neutron cross sections for nucleosynthesis studies // Atom. Nucl. Data Tabl. 2000. V.76. P.70-154.
292. Raman S. et al. Valence capture mechanism in resonance neutron capture by ^{13}C // Phys. Rev. 1990. V.C41. P.458-471.
293. Lane R.O. et al. States in ^{14}C from σ_T and $\sigma_{el}(\theta)$ for $^{13}\text{C}+n$: Meas-

urement, R-matrix analysis, and model calculations // *Rhys. Rev.* 1981. V.C23. P.1883-1897.

294. 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].

295. 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)-1–011601(R)-5.

296. 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.024616-1–024616-6.

297. 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.035805-1–035805-6.

298. Beer H. et al. A measurement OF the $^{14}\text{C}(n,\gamma)^{15}\text{C}$ cross section at a stellar temperature of $KT = 23.3$ Kev // *Astrophys. Jour.* 1992. V.387. P.258.

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

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

301. 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.

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

303. 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.

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

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

306. Дубовиченко С.Б. Радиационный $n^{14}\text{N}$ захват при астрофизических энергиях // *Изв. ВУЗов Физика* 2013. Т.56. №1. (В печати); Dubovichenko S.B. Radiative $n^{14}\text{N}$ capture at astrophysical energies // *Rus. Phys. J.* 2013. V.56. №1 (In press).

307. 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.

308. 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-kharakteristic>. (in Russian).

309. <http://cdfe.sinp.msu.ru/exfor/index.php> .

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

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

312. 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.064614-1–064614-12.

313. Meissner J. et al. Neutron capture cross section of ^{15}N at stellar energies // *Phys. Rev.* 1996. V.C53. P4.977-981.

314. 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.

315. Hickey G. T. et al. R-matrix and Phase-Shift analyses of neutron

polarization measurements from n-¹⁶O scattering // Nucl. Phys. 1974. V.A225. P.470-480.

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

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

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

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

320. 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.

321. Dufour M., Descouvemont P. Microscopic analysis of the ¹³C(α,n)¹⁶O and ¹⁶O(n,γ)¹⁷O reactions // Nucl. Phys. 2001. V.A694. P.221-232; Multichannel study of the ¹³C(α,n)¹⁶O and ¹⁶O(n,γ)¹⁷O reactions // Phys. Rev. 2005. V.C72. P.015801-1–015801-7.

322. Yamamoto K. et al. Radiative capture cross section for ¹⁶O(n,γ)¹⁷O and ¹⁶O(p,γ)¹⁷F below astrophysical energies // Prog. Theor. Phys. 2009. V.121. P.375-390.

323. McDonald A. B. et al. Doubly radiative thermal neutron capture in ²H and ¹⁶O 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.

324. Дубовиченко С.Б. Радиационный n¹⁶O захват при низких энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2013. Т.56 (В печати); Dubovichenko S.B. Radiative n¹⁶O capture at astrophysical energies // Rus. Phys. J. 2013. V.56. (In press).

325. Afanasyeva N.V., Dubovichenko S.B., Dzhazairov - Kakhramanov A.V. Radiative neutron capture on ¹⁴C and ¹⁴N // arXiv:1212.1765 [nucl-th].

326. Дубовиченко С.Б. Радиационный захват нейтронов на ядрах

^2H , ^7Li , ^{14}C и ^{14}N при астрофизических энергиях // ЯФ 2013. Т.76 (В печати); Dubovichenko S.B. Radiative capture of the neutrons by nuclei ^2H , ^7Li , ^{14}C и ^{14}N at astrophysical energies // Phys. Atom. Nucl. 2013. V.76. (In press).

327. Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Burkova N.A. The radiative neutron capture on ^2H , ^6Li , ^7Li , ^{12}C and ^{13}C at astrophysical energies // arXiv:1209.1702 [nucl-th] .

328. Дубовиченко С.Б. Радиационный $n^{15}\text{N}$ захват при астрофизических энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2013. Т.56. (В печати); Dubovichenko S.B. Radiative $n^{15}\text{N}$ capture at astrophysical energies // Rus. Phys. J. 2013. V.56. (In press).

329. 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: АРНІ. 2011. 311p.; <http://xxx.lanl.gov/abs/1201.3003>. (in Russian).

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



MoreBooks!
publishing



yes i want morebooks!

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн – в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов! окружающей среде благодаря технологии Печати-на-Заказ.

Покупайте Ваши книги на
www.more-books.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

