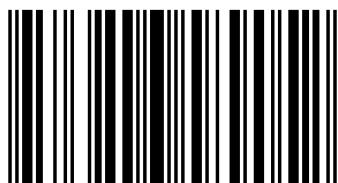


Книга посвящена актуальным вопросам ядерной физики и ядерной астрофизики легких атомных ядер и термоядерных процессов с ними при низких и сверхнизких энергиях. Приводятся простые, но эффективные методы расчета ядерных характеристик термоядерных процессов, рассматриваемых в ядерной астрофизике. Полученные результаты непосредственно применимы к решению некоторых задач ядерной астрофизики в области описания термоядерных процессов на Солнце, звездах и Вселенной. Первая глава книги посвящена описанию общих методов расчета основных ядерных характеристик для связанных состояний и континуума системы квантовых частиц. Вторая – методам, компьютерным программам и результатам фазового анализа упругого рассеяния ядерных  $p^3He$ ,  $p^6Li$ ,  $p^{12}C$ ,  $n^{12}C$ ,  $p^{13}C$ ,  $^4He^4He$  и  $^4He^{12}C$  систем при низких энергиях. В третьей главе приводятся результаты, полученные на основе трехтельных моделей кластерных легких атомных ядер, а именно,  $^7Li$ ,  $^9Be$  и  $^{11}B$ . И в четвертой – рассматриваются процессы радиационного захвата нейтронов при тепловых ( $\sim 1$  эВ), астрофизических ( $\sim 1$  кэВ) и низких ( $\sim 1$  МэВ) энергиях на некоторых легких атомных ядрах. Книга может быть полезна студентам старших курсов, аспирантам и PhD докторантам ВУЗов.



**Сергей Дубовиченко**

Академик Международной Академии Информатизации, Член-корреспондент Российской Академии Естествознания, Академик Нью-Йоркской Академии наук, Доктор физико-математических наук (Казахстан и Россия), Член Европейского физического общества.



978-3-8465-8905-2

## Избранные методы ядерной астрофизики

Сергей Дубовиченко



Сергей Дубовиченко

# Избранные методы ядерной астрофизики

Методы ядерной физики в избранных  
задачах ядерной астрофизики

LAP  
**LAMBERT**  
Academic Publishing

**Сергей Дубовиченко**

**Избранные методы ядерной астрофизики**



**Сергей Дубовиченко**

**Избранные методы ядерной  
астрофизики**

**Методы ядерной физики в избранных  
задачах ядерной астрофизики**

**LAP LAMBERT Academic Publishing**

**Impressum/Imprint (nur für Deutschland/only for Germany)**

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.

Coverbild: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

Verlag: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG  
Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Deutschland

Telefon +49 681 3720-310, Telefax +49 681 3720-3109

Email: [info@lap-publishing.com](mailto:info@lap-publishing.com)

Herstellung in Deutschland:

Schaltungsdienst Lange o.H.G., Berlin  
Books on Demand GmbH, Norderstedt  
Reha GmbH, Saarbrücken  
Amazon Distribution GmbH, Leipzig  
**ISBN: 978-3-8465-8905-2**

**Только для России и стран СНГ**

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 брэндах и их можно использовать всем без ограничений.

Изображение на обложке предоставлено: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG

Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Germany

Телефон +49 681 3720-310, Факс +49 681 3720-3109

Email: [info@lap-publishing.com](mailto:info@lap-publishing.com)

Напечатано в России

**ISBN: 978-3-8465-8905-2**

АВТОРСКОЕ ПРАВО ©2012 принадлежат автору и LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG и лицензиарам

Все права защищены. Saarbrücken 2012

# СОДЕРЖАНИЕ

---

---

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
I. МЕТОДЫ РАСЧЕТА .....	11
Введение .....	11
1.1 Обзор возможностей кластерной модели .....	13
1.2 Потенциалы и волновые функции.....	21
1.3 Методы фазового анализа .....	23
1.4 Некоторые численные методы.....	25
1.5 Обобщенная матричная задача на собственные значения.....	30
1.6 Общие принципы трехтельной модели .....	38
1.7 Вариационные методы трехтельной модели .....	40
1.8 Полные сечения радиационного захвата.....	43
Заключение .....	46
II. ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ .....	47
Введение .....	47
2.1 Фазовый анализ упругого $^4\text{He}^4\text{He}$ рассеяния.....	49
2.1.1 Обзор эксперимента по упругому $^4\text{He}^4\text{He}$ рассеянию.....	49
2.1.2 Методы фазового анализа упругого $^4\text{He}^4\text{He}$ рассеяния .....	51
2.1.3 Проверка компьютерной программы .....	53
2.1.4 Результаты фазового анализа упругого $^4\text{He}^4\text{He}$ рассеяния .....	56
2.1.5 Программа для $^4\text{He}^4\text{He}$ и $^4\text{He}^{12}\text{C}$ фазового анализа .....	72
2.2 Фазовый анализ упругого $^4\text{He}^{12}\text{C}$ рассеяния .....	86
2.2.1 Дифференциальные сечения.....	86
2.2.2 Фазовый анализ .....	87
2.3 Фазовый анализ упругого $p^{12}\text{C}$ рассеяния .....	100
2.3.1 Дифференциальные сечения.....	100

2.3.2 Контроль компьютерной программы .....	103
2.3.3 Фазовый анализ $p^{12}C$ рассеяния .....	107
2.3.4 Фазовый анализ упругого $n^{12}C$ рассеяния .....	112
2.3.5 Программа для $n^{12}C$ и $p^{12}C$ фазового анализа .....	119
2.4 Фазовый анализ упругого $p^6Li$ рассеяния .....	130
2.4.1 Дифференциальные сечения.....	130
2.4.2 Фазовый анализ .....	131
2.4.3 Программа для фазового анализа.....	137
2.5 Фазовый анализ и компьютерные программы для рассеяния частиц со спином $1/2+1/2$ .....	149
2.5.1 Система со спин-орбитальным взаимодействием.....	149
2.5.2 Система со спин-орбитой и синглет-триплетным смешиванием .....	166
2.5.3 Фазовый анализ $p^{13}C$ со спин-орбитой.....	189
Заключение .....	194
III. ТРЕХТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ .....	195
Введение .....	195
3.1 Трехтельные конфигурации ядра $^7Li$ и трехтельная программа.....	196
3.1.1 Потенциалы и фазы .....	196
3.1.2 Компьютерная программа .....	200
3.1.3 Трехтельные результаты .....	220
3.2 Трехтельная модель ядра $^9Be$ .....	224
3.2.1 Потенциалы и фазы рассеяния.....	224
3.2.2 Трехтельные результаты и фотосечения .....	226
3.3 Трехкластерная структура $^{11}B$ .....	234
3.3.1 Потенциалы и фазы .....	235
3.3.2 Трехтельные результаты .....	237
Заключение .....	248

<b>IV. РАДИАЦИОННЫЙ ЗАХВАТ НЕЙТРОНОВ</b>	
<b>НА ЛЕГКИХ ЯДРАХ .....</b>	<b>249</b>
<b>Введение .....</b>	<b>249</b>
<b>4.1 Радиационный захват <math>n^2H</math></b>	
<b>в кластерной модели .....</b>	<b>255</b>
<b>4.1.1 Потенциальное описание упругого</b>	
<b><math>n^2H</math> рассеяния .....</b>	<b>255</b>
<b>4.1.2 Полные сечения радиационного</b>	
<b><math>n^2H</math> захвата .....</b>	<b>259</b>
<b>4.2 Радиационный <math>n^6Li</math> захват.....</b>	<b>264</b>
<b>4.2.1 Потенциальное описание</b>	
<b><math>n^6Li</math> рассеяния.....</b>	<b>264</b>
<b>4.2.2 Полные сечения радиационного</b>	
<b><math>n^6Li</math> захвата .....</b>	<b>267</b>
<b>4.3 Радиационный захват в <math>n^{12}C</math></b>	
<b>и <math>n^{13}C</math> системах .....</b>	<b>273</b>
<b>4.3.1 Полные сечения <math>n^{12}C</math> захвата.....</b>	<b>273</b>
<b>4.3.2 Полные сечения <math>n^{13}C</math> захвата.....</b>	<b>279</b>
<b>4.4 Кластерная <math>n^7Li</math> система .....</b>	<b>286</b>
<b>4.4.1 Классификация кластерных состояний</b>	
<b>в <math>n^7Li</math> системе .....</b>	<b>286</b>
<b>4.4.2 Потенциальное описание упругого</b>	
<b><math>n^7Li</math> рассеяния.....</b>	<b>287</b>
<b>4.4.3 Радиационный <math>^7Li(n,\gamma)^8Li</math> захват .....</b>	<b>295</b>
<b>4.5 Компьютерная программа для расчетов</b>	
<b>полных сечений радиационного захвата.....</b>	<b>300</b>
<b>Заключение .....</b>	<b>324</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>327</b>
<b>БЛАГОДАРНОСТИ .....</b>	<b>331</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>333</b>

## *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 **Ишханов Б.С.**

(МГУ, Москва, Россия),

д.ф.-м.н., профессор **Багров В.Г.**

(ТГУ, Томск, 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., 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, объяснить распространенность химических элементов во Вселенной [1].*

В книге представлены новые достижения в области исследований термоядерных процессов при низких и сверхнизких, т.е. астрофизических энергиях и методов их анализа с точки зрения общих законов и принципов современной ядерной физики.

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 своей основе, являются ядерными реакциями при высоких и сверхвысоких энергиях, не привлекая для этого модели и методы современной физики элементарных частиц, например, "Стандартной Модели" [5]. Иначе говоря, невозможно рассматривать астрономические явления и физические свойства астрономических объектов, не привлекая для этого законы физики, в целом, и ядерной физики, в частности!

В этой книге мы будем рассматривать некоторые методы и результаты ядерной физики астрофизических энергий, которые используются для описания термоядерных реакций на Солнце и звездах, т.е. некоторых ядерных реакций при низких и сверхнизких энергиях. Книга основана на результатах, примерно, трех-четырех десятков научных статей, опубликованных, в основном, за последние пять-семь лет в России, Европе, США,

СНГ и Казахстане и состоит из четырех глав.

Первая из них посвящена описанию общих математических методов расчета некоторых ядерных характеристик для связанных состояний и континуума, которые используются для нахождения волновой функции системы частиц при заданных потенциалах взаимодействия.

Вторая содержит методы, компьютерные программы и результаты фазового анализа упругого рассеяния ядерных частиц  $p^3\text{He}$ ,  $p^6\text{Li}$ ,  $p^{12}\text{C}$ ,  $n^{12}\text{C}$ ,  $p^{13}\text{C}$ ,  $^4\text{He}^4\text{He}$  и  $^4\text{He}^{12}\text{C}$  при астрофизических энергиях. Эти результаты используются для построения парных межклusterных потенциалов взаимодействия в непрерывном и дискретном спектре. Полученные таким образом потенциалы используются далее для расчетов некоторых основных характеристик термоядерных процессов Вселенной [3].

В третьей главе приводятся результаты трехтельных моделей некоторых легких атомных ядер, а именно,  $^7\text{Li}$ ,  $^9\text{Be}$  и  $^{11}\text{B}$ , которые позволяют проверить, протестировать, получаемые на основе фаз упругого рассеяния, парные межклusterные потенциалы и выяснить целесообразность их дальнейшего применения для описания основных характеристик термоядерных процессов.

И, наконец, четвертая глава посвящена описанию результатов, полученных в рамках потенциальной кластерной модели, для радиационного захвата нейтронов тепловых и астрофизических энергий на некоторых легких атомных ядрах в широкой энергетической области, охватывающей обычно 8-9 порядков по энергии.

В результате рассматриваются все наиболее существенные этапы, которые необходимо выполнить для получения на основе экспериментальных данных некоторых промежуточных параметров, требуемых в дальнейшем для проведения расчетов основных характеристик термоядерных процессов радиационного захвата, протекающих на Солнце, звездах и в процессе образования 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 [12].*

Таким образом, зная методы расчета волновых функций ядра в непрерывном и дискретном спектрах, которые были приведены в первой главе, можно решать в кластерной модели многие важные проблемы ядерной физики низких и сверхнизких энергий и ядерной астрофизики [17]. Однако для выполнения реальных расчетов ядерных характеристик термоядерных процессов при решении уравнения Шредингера нужно знать потенциалы взаимодействия между легкими ядерными частицами – кластерами, которые участвуют в термоядерных реакциях [14].

Для построения межкластерных потенциалов процессов рассеяния обычно используются результаты фазового анализа, приведенные во второй главе, в котором поиск фаз рассеяния начинается практически с нулевой энергии. Поэтому потенциалы, получаемые на основе таких фаз для процессов упругого рассеяния, которые учитывают наличие резонансных состояний, можно использовать в любых расчетах связанных с решением ядерно-физических и астрофизических задач низких и сверхнизких энергий [14].

Межкластерные потенциалы связанных в ядре состояний кластеров, которые требуются для расчетов, например, электромагнитных переходов из связанного состояния ядра в состояния непрерывного спектра, обычно строятся на основе описания ими некоторых характеристик основных состояний ядер в кластерных каналах. Они должны, как правило, зависеть только от одной схемы Юнга, т.е. быть чистыми по орбитальной симметрии [9, 12, 13].

Здесь важно подчеркнуть, что используемая классификация

орбитальных состояний по схемам Юнга, которая более подробно описана в работах [13,169], позволяет определять число запрещенных состояний, а значит глубину парциального потенциала, позволяющего описать парциальную фазу рассеяния. Извлекаемая из эксперимента форма фазы рассеяния в резонансной области энергий, где значения фазы резко меняются, позволяет вполне однозначно фиксировать ширину такого потенциала [169]. В результате потенциал рассеяния в резонансной области энергий фиксируется полностью однозначно.

Что касается потенциалов СС, то их глубина однозначно фиксируется на основе классификации ЗС и РС. Ширина такого потенциала приемлемо определяется по описанию некоторых характеристик его основного связанного состояния. Тем самым, используемые методы получения формы и глубины межкластерных взаимодействий, позволяют избавиться от дискретной и непрерывной неоднозначности его параметров [169], присущих оптической модели [88].

Некоторые варианты таких потенциалов взаимодействия гауссова и Вудс-Саксоновского типа для систем ядерных частиц NN,  $p^2H$ ,  $p^3H$ ,  $p^4He$ ,  $p^6Li$ ,  $p^7Li$ ,  $p^9Be$ ,  $p^{12}C$ ,  $p^{13}C$ ,  $^2H^2H$ ,  $^2H^3He$ ,  $^2H^3H$ ,  $^3H^3He$ ,  $^3H^3H$ ,  $^3He^3He$ ,  $^2H^4He$ ,  $^3H^4He$ ,  $^3He^4He$ ,  $^2H^6Li$ ,  $^4He^4He$ ,  $^4He^{12}C$  и некоторые другие были получены ранее в оригинальных работах авторов из НИИЯФ МГУ и Алматы. Впоследствии, они были систематизированы, перепроверены, уточнены и приведены в следующих обзорах и книгах [9-11,12-15,17,29,37,169]. В некоторых случаях при построении таких межкластерных взаимодействий учитывалась концепция запрещенных и разрешенных состояний в относительном движении кластеров, что позволило избавиться от присутствия на малых расстояниях отталкивающего кора [11].

В третьей главе книги приведено довольно подробное рассмотрение результатов трехтельной одноканальной модели некоторых легких атомных ядер, которое, по сути, направлено на дополнительный контроль правильности построения парных межкластерных потенциалов на основе фаз упругого рассеяния [16,87,208]. В дальнейшем некоторые из полученных и прове-

ренных таким образом взаимодействий используются для расчетов астрофизических S-факторов, полных сечений радиационного захвата и других ядерных характеристик термоядерных процессов на Солнце и звездах [14,169].

И в четвертой главе приведены результаты расчетов полных сечений радиационного захвата нейтронов тепловых и астрофизических энергий на некоторых легких ядрах. Эти реакции обычно входят в процессы первичного нуклеосинтеза, происходившего во Вселенной на стадии ее образования. При самых низких энергиях выполнена параметризация полных сечений захвата функциями простого вида.

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 термоядерных реакций на Солнце и звездах. Показано, как на основе некоторых вычислительных методов и представлений ядерной физики можно получить потенциалы, которые позволяют решать в дальнейшем определенные проблемы образования, развития и существования нашей Вселенной [169].



## **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 Национального ядерного центра РК, Алматы, Казахстан), проф. Данбаеву Н.Т. (Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан), проф. Чечину Л.М. (Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан) за очень ценные обсуждения некоторых вопросов, которые были рассмотрены 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) МОН 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 данной тематики по Ядерной астрофизике, а также директору Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова Омарову Ч.Т. за большую помощь при издании книги в Алматы.



## **ЛИТЕРАТУРА**

---

---

1. Капитонов И.М., Ишханов Б.С., Тутынь И.А. Нуклеосинтез во Вселенной. М.: Либроком. 2009; <http://nuclphys.sinp.msu.ru/lect/index.html>; Kapitonov I.M., Ishkhanov B.S., Tutyn I.A. Nucleosynthesis in the Universe. Moscow. Librokom. 2009 (in Russian).
2. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Орлин В.Н. Модели атомных ядер. М.: МГУ. 2001; <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nucmod/nucmod1.htm>; Kapitonov I.M., Ishkhanov B.S., Orlin V.N. Models of atomic nuclei. Moscow. Moscow state university. 2009 (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. 562р.
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. Angulo C. et al. A compilation of charged-particle induced thermonuclear reaction rates // Nucl. Phys. 1999. V.A656. P.3-183.
7. 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).
8. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука. 1975. 735с.; Zel'dovich Ya.B., Novikov I.D. Structure and Evolution of the Universe. Moscow. Nauka. 1975. 735p. (in Russian).
9. Дубовиченко С.Б., Узиков Ю.Н. Астрофизические S-факторы реакций с легкими ядрами // ЭЧАЯ 2011. Т.42. №2. С.478-577; Dubovichenko S.B., Uzikov Yu.N. Astrophysical S-factors of reactions with light nuclei // Phys. Part. Nucl. 2011. V.42. №2. P.251-301.
10. 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 // Phys. Part. Nucl. 1992. V.23.; 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.

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

12. Немец О.Ф. и др. Нуклонные ассоциации в атомных ядрах и ядерные реакции многонуклонных передач. Киев: Наукова Думка. 1988. 488с.; Nemets O.F., Neudatchin V.G., Rudchik A.T., Smirnov Y.F., Tchuvil'sky Yu.M. Nucleon Association in Atomic Nuclei and the Nuclear Reactions of the Many Nucleons Transfers. Kiev. Naukova dumka. 1988. 488p. (in Russian).

13. 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.; (in Russian); <http://arxiv.org/abs/1006.4944>.

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

15. 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](https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=21109).

16. Дубовиченко С.Б. Трехтельная модель ядра  $^{11}B$  // ЖЭТФ 2011. Т.140. №2. 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.

17. Дубовиченко С.Б. Методы расчета ядерных характеристик. Алматы: Комплекс. 2006. 311с.; Dubovichenko S.B. Calculation method of the nuclear characteristics. Almaty. Complex. 2006. 311p.; <http://arxiv.org/abs/1006.4947>.

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

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

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

21. Вильдермут Л., Тан Я. Единая теория ядра. М.: Мир. 1980. 502с.; Wildermut K., Tang Y.C. A unified theory of the nucleus. Vieweg. Branschweig. 1977. 498p.

22. 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).

23. Бор О., Моттельсон 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. Ldt. 1998. 471p.; [http://reslib.com/book/Nuclear\\_Structure\\_\\_Vol\\_1\\_\\_Single\\_Particle\\_Motion#7](http://reslib.com/book/Nuclear_Structure__Vol_1__Single_Particle_Motion#7).

24. Дубовиченко С.Б. Свойства легких атомных ядер в потенциальной кластерной модели. Каз.ГУ. Алматы. 1998. 332с. Деп. в Каз. Гос. ИНТИ 1998, №8172 Ка98.; Dubovichenko S.B. Properties of the light nuclei in potential cluster model. Almaty. INTI. 1998. №8172 Ка98. 332p.

25. Neudatchin V.G. et al. A microscopic substantiated optical potential for  $\alpha t$  system including nucleon exchange // Lett. Nuovo Cim. 1972. V.5. P.834-838.

26. Neudatchin V.G. et al. A microscopically substantiated local optical potential for  $\alpha\alpha$  scattering // Phys. Lett. 1971. V.B34. P.581-583.
27. Kurdyumov I.V. et al. The high energy limit for the  $\alpha d$  form factors in the  ${}^6\text{Li}$  nuclei // Phys. Lett. 1972. V.40B. P.607-610.
28. Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Запрещенные состояния в системах двух и трех составных частиц // Современные вопросы оптики и атомной физики. Киев. Киевский гос. унит. 1974. С.225-241.
29. Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Взаимодействие составных частиц и принцип Паули // ЭЧАЯ 1979. Т.10. С.1236-1255.; Kukulin V.I, Neudachin V.G., Smirnov Yu.F. Composite particle interaction relevant to the Pauli principle // Phys. Part. Nucl. 1979. V.10.
30. 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. КГУ. Калинин. 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. KSU. Kalinin. USSR. 1983. P.65-79.
31. Дубовиченко С.Б., Мажитов М. Вариационные расчеты ядер  ${}^{6,7}\text{Li}$  в кластерных моделях для потенциалов с запрещенными состояниями // Изв. АН Каз.ССР сер. физ.-мат. 1987. №4. С.55-64; Dubovichenko S.B., Mazhitov M. Variation calculations of the  ${}^{6,7}\text{Li}$  nuclei in cluster models with forbidden states // Bull. Acad. Sci. KazSSR ser. phys.-math. 1987. №4. P.55-64.
32. Дубовиченко С.Б., Мажитов М. Неортогональный вариационный базис в задаче двух тел. Каз.ГУ. Алматы. 1987. С.1729-1735. Деп. Каз. Гос. НИИНТИ 1987. №.1665; Dubovichenko S.B., Mazhitov M. Non orthogonal variational basis in two-bode tasks // Kaz. State NIINTI 1987. №1665.
33. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Каҳраманов 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.
34. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Каҳраманов 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.

35. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Каҳраманов 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.

36. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Каҳраманов 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.

37. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Каҳраманов 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.

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

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

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

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

42. Дубовиченко С.Б. и др. Обобщенное потенциальное описание взаимодействия легчайших ядер  $\text{p}^3\text{H}$  и  $\text{p}^3\text{He}$  // Изв. АН СССР сер. физ. 1990. Т.54. С.911-916; Dubovichenko S.B. et al. Generalized potential de-

- scription of the interaction of the lightest nuclei  $p^3H$  and  $p^3He$  // Bull. Acad. Sci. SSSR. ser. phys. 1990. V.54. P.911-916.
43. Neudatchin V.G., Sakharuk A.A., Dubovichenko S.B. Photodisintegration of  $^4He$  and supermultiplet potential model of cluster-cluster interaction // Few Body Sys. 1995. V.18. P.159-172.
44. Neudatchin V.G. et al. The generalized potential model description of  $p^2H$  and  $^2H^3He$  scattering // Phys. Lett. 1991. V.B255. P.482-486.
45. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Каҳраманов 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  $N^2H$ ,  $^2H^2H$ ,  $N^4He$ , and  $^2H^3H$  scattering // Sov. J. Nucl. Phys. USSR 1990. V.51. P.971-977.
46. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Каҳраманов 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  $N^3H$  and  $N^3He$  scattering // Phys. Atom. Nucl. 1993. V.56. P.447-454.
47. Дубовиченко С.Б. Фотопроцессы в  $N^2H$  и  $^2H^3He$  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  $N^2H$  and  $^2H^3He$  systems on the basis of cluster models for potentials with forbidden states // Phys. Atom. Nucl. 1995. V.58. P.1174-1180.
48. Дубовиченко С.Б. Фотопроцессы в dd канале ядра  $^4He$  на основе потенциальной кластерной модели // ЯФ 1995. Т.58. С.1973-1979; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Description of photo-processes in the dd channel of the  $^4He$  nucleus in potential cluster models // Phys. Atom. Nucl. 1995. V.58. P.1866-1872.
49. Дубовиченко С.Б. Фотопроцессы в  $p^3H$  и  $n^3He$  каналах ядра  $^4He$  на основе потенциальных кластерных моделей // ЯФ 1995. Т.58. С.1377-1384; Dubovichenko S.B. Photonuclear processes in the channels  $p^3H$  and  $n^3He$  of the  $^4He$  nucleus in potential cluster models // Phys. Atom. Nucl. 1995. V.58. P.1295-1302.
50. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Каҳраманов А.В., Сахарук А.А. Потенциальное описание упругого  $N^6Li$  и  $\alpha t$  рассеяния // ЯФ 1993.

T.56. C.90-106; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Sakhарук А.А. Potential description of  $n^6Li$  and  $^3H^4He$  elastic-scattering // Phys. Atom. Nucl. 1993. V.56. P.1044-1053.

51. Дубовиченко С.Б., Джазаиров Каҳраманов А.В. Потенциальное описание упругого  $\alpha\alpha$ ,  $^2H^6Li$  и  $N^7Li$  рассеяния // ЯФ 1992. Т.55. С.2918-2926; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Potential description of elastic  $\alpha\alpha$ ,  $^2H^6Li$ , and  $N^7Li$  scattering // Sov. J. Nucl. Phys. USSR 1992. V.55. P.1632-1636.

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

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

54. 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.

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

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

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

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

59. 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.

60. 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.
61. 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.
62. Lehman D.R., Parke W.C. A=6 structure from three body dinamics // Phys. Rev. Lett. 1983. V.50. P.98-101.
63. Lehman D.R. Excluded bound state in the  $S_{1/2}$   ${}^4\text{He}$  interaction and the three body bilding energies of  ${}^6\text{He}$  and  ${}^6\text{Li}$  // Phys. Rev. 1982. V.C25. P.3146-3154.
64. 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.
65. 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.
66. Neudatchin V.G., Obukhovsky 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.
67. Neudatchin V.G. et al. Attractive potential with forbidden states for the NN interaction // Phys. Rev. 1975. V.C11. P.128-135.
68. 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.
69. Kukulin 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.
70. 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.

71. Дубовиченко С.Б. Формфакторы дейтранона 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.
72. 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.
73. 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.
74. 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.
75. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Физ. мат. лит. 1976. 575с.; Kamke E. Differentialgleichungen: Lösungsmethoden und Lösungen. I. Gewöhnliche Differentialgleichungen. B.G. Teubner. Leipzig, 1977. 575p.
76. 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. M. Fiz. Math. Lit. 1961. 350p.
77. 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. M. Fiz. Math. Lit. 1972. 399p.

78. Маделунг Э. Математический аппарат физики. М.: Физ. мат. лит. 1968. 618с.; Madelung E. Die mathematischen hilfsmittel des physikers. Sechste. Berlin. 1957. 618р.
79. Троицкий В.А. Инженерные расчеты на ЭВМ. Л.: Машиностроение. 1979. 287с.; Troizkii V.A. Engineering calculations on a computer. Leningrad. Mechanical Engineering. 1979. 287р.
80. Джейфрис Г., Свирлс Б. Методы математической физики. М.: Мир. 1970. 350с.; Jeffres H., Swirles B. Methods of mathematical physics. Cambridge. Cam. Univ. Press. 1966. 350р.
81. 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. M. Nauka. 1964. 367р.
82. Мэтьюз Дж., Уокер Р. Математические методы физики. М.: Атомиздат. 1972. 398с.; Mathews J. Walker R. Mathematical method of physics. W.A. Benjamin Inc. New-York. 1964. 498р.
83. 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. Fiz. Mat. Lit. Moscow. 1960. 215р. (in Russian).
84. Мелентьев П.В. Приближенные вычисления. М.: Физ. мат. лит. 1962. 387с.; Melent'ev P.V. Approximate calculus. Fiz. Mat. Lit. Moscow. 1962. 387р. (in Russian).
85. 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. Atomizdat. Moscow. 1970. 304р. (in Russian).
86. Демидович Б.П., Марон И.Ф. Основы вычислительной математики. М.: Наука. 1966. 664с.; Demidovich B.P., Maron I.F. Foundation of calculus mathematics. Nauka. Moscow. 1966. 664р. (in Russian).
87. 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.
88. Ходжсон П.Е. Оптическая модель упругого рассеяния. М.: Атомиздат. 1966. 230с.; Hodgson, P. E. The Optical model of elastic

- scattering. Clarendon Press. Oxford. 1963. 211p.
89. Plattner G.R., Viollier R.D. Coupling constants of commonly used nuclear probes // Nucl. Phys. 1981. V.A365. P.8-12.
90. 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.
91. 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 constans // Phys. Part. Nucl. 1977. V.8.
92. 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.
93. Barnet A. et al. Coulomb wave function for all real  $\eta$  and  $\rho$  // Comput. Phys. Comm. 1974. V.8. P.377-395.
94. 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.
95. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. М.: Наука. 1979. 832с.; Abramowitz M., Stegun I.A. Handbook of mathematical functions. Nat. bur. Stand. Washington. 1964. 1046p.
96. Люк Ю. Специальные математические функции и их аппроксимация // М.: Мир. 1980. 608с.; Luke Yu.L. Mathematical functions and their approximations. Academic Press. New York. 1975. 568p.
97. Melkanoff M.A. Fortran program for elastic scattering analysis with nuclear optical model // Univ. California Pres. Berkley. Los Angeles. 1961. 116p.
98. Lutz H.F., Karvelis M.D. Numerical calculation of coulomb wave functions for repulsive coulomb fields // Nucl. Phys. 1963. V.43. P.31-44.
99. Melkanoff M. Nuclear optical model calculations // Meth. in Comput. Phys. Acad. Press N-Y. 1966. V.6. P.1-80.
100. Gody W.J., Hillstrom K.E. Chebyshev approximations for the coulomb phase shifts // Meth. Comput. 1970. V.111. P.671-677.

101. Smith W.R. Nuclear penetrability and phase shift subroutine // Usics Communs. 1969. V.1. P.106-112.
102. Froberg C.E. Numerical treatment of Coulomb wave functions // Rev. Mod. Phys. 1955. V.27. P.399-411.
103. Abramowitz M. Tables of Coulomb wave function. V.1. Washington. N.B.S. 1952. 141p.
104. 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. Fiz. Mat. Lit. Moscow. 1961. 439p. (in Russian).
105. Кузнецов Д.С. Специальные функции. М.: Высшая школа. 1965. 272с.; Kuznetsov D. S. Special functions; Vysshaya Shkola. Moscow. 1965. 272p. (in Russian).
106. 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.
107. 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). Р.110-115.
108. 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. (in Russian); <http://www.arxiv.org/abs/1012.1705>.
109. Скорняков Л.А. Справочная математическая библиотека. Общая алгебра. М.: Наука. 1990. 591с.; Skornyakov L.A. Reference mathematical library. General algebra. Nauka. Moscow. 1990. 591p. (in Russian).
110. 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, Naukova Dumka, Kiev, 1984, 598p. (in Russian).

111. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Мир. 1974. 832с.; Korn G., Korn T. Mathematical Handbook. Mc-Graw Hill Book Co. New-York. 1968. 832p.
112. 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.
113. 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.
114. Мишина А.П., Проскуряков И.В. Высшая алгебра. М.: Физ. мат. лит. 1962. 300с.; Mishina A.P., Proskuryakov I.V. Higher algebra. Fiz. Mat. Lit. Moscow. 1961. 439p. (in Russian).
115. Kukulin V.I., Vorontchev V.T., Pomerantsev V.N Three body calculation of  $A=9$  nuclei with super-symmetric  $\alpha\alpha$  potential // Few Body Syst. 1995. V.1. P.191-202.
116. 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.
117. Мотт Н., Месси Г. Теория атомных столкновений. М.: Мир. 1969. 756с.; Mott N., Messey H. The theory of atomic collisions. Clarendon Press. UK. 1965. 858p.
118. 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.
119. 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.

120. [http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mud|search\\_for=atomnuc!](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mud|search_for=atomnuc!)
121. Juster F.P. et al. Tritium electromagnetic form factors // Phys. Rev. Lett. 1985. V.55. P.2261-2264.
122. Beck D.H. et al. Tritium form factors at low q // Phys. Rev. 1984. V.C30. P.1403-1408.
123. Sick I. Precise nuclear radii from electron scattering // Phys. Lett. 1982. V.B116. P.212-214.
124. 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.
125. Krasnopol'sky V.M., Kukulin V.I. A new many particle variational method // Czech. J. Phys. 1977. V.B27. P.290-304; Krasnopol'sky V.M., Kukulin V.I. A stochastic variational method for few body systems // J. Phys. 1977. V.G3. P.795-811.
126. [http://cdfe.sinp.msu.ru/services/ground/NuclChart\\_release.html](http://cdfe.sinp.msu.ru/services/ground/NuclChart_release.html)
127. Никитин Ф. Фазовый анализ. М.: Мир. 1983. 416с.; Nichitiu F. Phase shifts analysis in physics. Acad. Publ. Romania. 1980. 416p.
128. Дубовиченко С.Б. Фазовый анализ  ${}^4\text{He}$ - ${}^4\text{He}$  рассеяния при 40–50 MeV // Изв. ВУЗов сер. физ. 2007. № 6. С.74-79; Dubovichenko S.B. Phase analysis of  ${}^4\text{He}$ - ${}^4\text{He}$  scattering at energies of 40–50 MeV // Rus. Phys. J. 2007. V.50. P.605-611.
129. Heydenberg N.P., Temmer G.M. Alpha-Alpha scattering at low energies // Phys. Rev. 1956. V.104. P.123-134.
130. Russel J.L. et al. Scattering of alpha particles from Helium // Phys. Rev. 1956. V.104. P.135-142.
131. Tombrello T.A., Senhouse L.S. Elastic scattering of Alpha particles from Helium // Phys. Rev. 1963. V.129. P.2252-2258.
132. 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.
133. Nilson R. et al. Investigation of excited states in  ${}^8\text{Be}$  by  $\alpha$ -particle scattering from Helium // Phys. Rev. 1958. V.109. P.850-860.
134. Steigert F.E., Samson M.B. Alpha-Alpha scattering from 12.88 to 21.62 MeV // Phys. Rev. 1953. V.92. P.660-664.
135. Chien W.S., Brown R.E. Study of the  $\alpha\alpha$  system below 15 MeV //

Phys. Rev. 1970. V.C10. P.1767-1784.

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

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

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

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

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

141. Буртебаев Н.Т. и др. Препринт № 88-01 ИЯФ (Алма-Ата, Казахстан, 1988).

142. 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.

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

144. Conzett H.E., Slobodian 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.

145. 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.

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

147. 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.

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

149. 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.

150. 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.

151. Дубовиченко С.Б. и др. Фазовый анализ упругого  ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$  рассеяния при энергиях 1.5-6.5 MeV. // Доклады НАН РК 2008. №6. С.24-32.

152. Дубовиченко С.Б. и др. Фазовый анализ и потенциальное описание упругого  ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$  рассеяния при низких энергиях // Изв. ВУЗов сер. физ. 2009. № 7. С.55-62; Dubovichenko S.B. et al. Phase 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.

153. 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.

154. 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 // Progress in Particle and Nuclear Physics 2007. V. 59. P. 43.

155. Дубовиченко С.Б. Программа поиска фаз упругого рассеяния ядерных частиц со спином 1/2 // Вестник Каз.НТУ 2004. №3. С.137-144.

156. Дубовиченко С.Б. и др. Фазовый анализ дифференциальных

сечений упругого  $p^{12}C$  рассеяния при астрофизических энергиях // Изв. НАН РК сер. физ.-мат. 2007. №6. С.58-67.

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

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

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

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

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

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

163. Zazulin D.M. et al. Scattering of protons from  $^{12}C$  // The 6<sup>th</sup> 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 4<sup>th</sup> Eurasia Conf. "Nucl. Sci. and its Appl." Baku. Azerbaijan. 2006. P.56.

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

165. 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.

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

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

168. Heil M. et al. The  $(n,\gamma)$  cross section of  $^7Li$  // Astrophys. J. 1998. V.507. P.997; 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; Nagai Y. et al. Fast neutron capture reactions in nuclear astrophysics // Hyperfine Interactions 1996. V.103. P.43; <http://iopscience.iop.org/1468-6996/5/5-6/A06>; Liu Z.H. et al. Asymptotic normalization coefficients and neutron halo of the excited states in  $^{12}\text{B}$  and  $^{13}\text{C}$  // Phys. Rev. 2001. V.C64. P.034312; Horvath A. et al. Cross section for the astrophysical  $^{14}\text{C}(\text{n},\gamma)^{15}\text{C}$  reaction via the inverse reaction // Astrophys. J. 2002. V.570. P.926-933.

169. Дубовиченко С.Б. Термоядерные процессы Вселенной. Изд. 2-е. Серия «Казахстанские космические исследования». Т.7. Алматы: А-три, 2011. 402с.; Dubovichenko S.B. Thermonuclear processes of the Universe. Second Edit. Series “Kazakhstan spase research” V.7. A-tri. Almaty. 2011. 402. (in Russian); <http://xxx.lanl.gov/abs/1012.0877>.

170. Dubovichenko S.B. Thermonuclear Processes of the Universe. New-York: NOVA Sci. Publ., 2012. 187p.; [https://www.novapublishers.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=31125](https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=31125) (To be published).

171. 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.

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

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

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

175. Baktybaev M.K. et al. The scattering of protons from  $^6\text{Li}$  and  $^7\text{Li}$  nuclei // The 4<sup>th</sup> Eurasia Conf. “Nucl. Sci. and its Appl.” Baku. Azerbaijan. 2006. P.62; Burtebaev N. et al. The new experimental data on the elastic

scattering of protons from  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$ ,  ${}^{16}\text{O}$  and  ${}^{27}\text{Al}$  nuclei // The 5<sup>th</sup> Eurasian Conf. "Nucl. Sci. and its Appl.". Ankara. Turkey. 2008. P.40.

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

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

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

179. Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S-factors of radiative capture of protons on  ${}^2\text{H}$ ,  ${}^3\text{H}$ ,  ${}^6\text{Li}$  and  ${}^{12}\text{C}$  nuclei // <http://xxx.lanl.gov/abs/1005.1794>. 44p.

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

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

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

183. Tombrello T.A. et al. The scattering of protons from  ${}^3\text{He}$  // Nucl. Phys. 1962. V.39. P.541-550.

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

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

186. Дубовиченко С.Б. Фазовый анализ упругого  $\text{p} {}^{13}\text{C}$  рассеяния // ЯФ 2012. Т.75. №3; Dubovichenko S.B. Phase shifts analysis of the elastic  $\text{p} {}^{13}\text{C}$  scattering // Phys. Atom. Nucl. 2012. V.75. P.285-290

187. Дубовиченко С.Б. Астрофизический S-фактор радиационного

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

188. 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.

189. Дубовиченко С.Б. Астрофизические S-факторы радиационного  $^3He^4He$ ,  $^3H^4He$  и  $^2H^4He$  захвата // ЯФ 2010. Т.73. С.1573-1584; Dubovichenko S.B. Astrophysical S factors of radiative  $^3He^4He$ ,  $^3H^4He$ , and  $^2H^4He$  capture // Phys. Atom. Nucl. 2010. V.73. P.1517-1522; Дубовиченко С.Б. Астрофизический S-фактор  $p^7Li \rightarrow ^8Be\gamma$  захвата при низких энергиях // Изв. ВУЗов. сер. физ. 2010. №12. С.29-38; Dubovichenko S.B. Astrophysical S-factor of the  $p^7Li \rightarrow ^8Be\gamma$  capture at low energies // Rus. Phys. J. 2010. V.53. P.1254-1263; Дубовиченко С.Б. Астрофизический S-фактор радиационного  $p^9Be$  захвата // Изв. ВУЗов сер. физ. 2011. №7. С.80-86; Dubovichenko S.B. Astrophysical S-factor of the  $p^9Be \rightarrow ^{10}B\gamma$  radiative capture // Rus. Phys. J. 2011. V.54. P.814-821.

190. Dubovichenko S.B. Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S-factor of the radiative  $p^2H$  capture // Euro. Phys. Jour. 2009. V.A39. P.139-143; Дубовиченко С.Б. М1 процесс и астрофизический S-фактор реакции  $p^2H$  захвата // Изв. ВУЗов сер. физ. 2011. №2. С.28-34; Dubovichenko S.B. Contribution of the M1 process to the astrophysical S-factor of the  $p^2H$  radiative capture // Rus. Phys. J. 2011. V.54. P.157-164; Дубовиченко С.Б. Астрофизический S-фактор радиационного захвата протонов на ядрах  $^3H$  и  $^7Li$  // ЯФ 2011. Т.74. С.378-390; Dubovichenko S.B. Astrophysical S factors for radiative proton capture by  $^3H$  and  $^7Li$  nuclei // Phys. Atom. Nucl. 2011. V.74. P.358-370.

191. Ali S., Ahmad A.A.Z., Ferdous N. A suvey of  $N^4He$  interaction // Prepr. Int. Center for Theor. Phys. 1984. 1C/84/195. 108p.

192. Schmelzbach P. et al. Phase shift analysis of  $^2H^4He$  elastic scattering // Nucl. Phys. 1972. V.A184. P.193-213.

193. McIntair L., Haeberli W. Phase shift analysis of  $^2H^4He$  scattering

// Nucl. Phys. 1967. V.A91. P.382-398.

194. 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.

195. 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.

196. Keller L., Haeberli 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.

197. 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.

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

199. [http://cdfe.sinp.msu.ru/cgi-bin/muh/radchartnucl.cgi  
?zmin=0&zmax=14&tdata=123456](http://cdfe.sinp.msu.ru/cgi-bin/muh/radchartnucl.cgi?zmin=0&zmax=14&tdata=123456)

200. 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](http://www.tunl.duke.edu/nucldata/HTML/A=3/03H_2010.shtml).

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

202. Mueller P. et al. Nuclear charge radius of  $^8\text{He}$  // Phys. Rev. Lett. 2007. V.99. P.252501-252505.

203. 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.

204. 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.

205. Spiger R., Tombrello T.A. Scattering of  $\text{He}^3$  by  $\text{He}^4$  and of  $\text{He}^4$  by

Tritium // Phys. Rev. 1967. V.163. P.964-984.

206. 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.

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

208. Буркова Н.А., Дубовиченко С.Б. Трехтельная  $^4\text{He}^3\text{H}^2\text{H}$  модель ядра  $^9\text{Be}$  // Изв. ВУЗов сер. физ. 2008. №1. С.86-91; Burkova N.A., Dubovichenko S.B.  $^4\text{He}^3\text{H}^2\text{H}$  three-body model of the  $^9\text{Be}$  nucleus // Russ. Phys. J. 2008. V.51. P.99-104.

209. Shoda K., Tanaka T. Clusters in the photodisintegration of  $^9\text{Be}$  // Phys. Rev. 1999. V.C59. P.239-252.

210. Ali S. and Bodmer A.R. Phenomenological  $\alpha$ - $\alpha$  potential // Nucl. Phys. 1966. V.80. P.99-112.

211. Jones C.M. et al. Alpha-alpha scattering in the energies range 5 to 9 MeV // Phys. Rev. 1969. V.117. P.525-530.

212. 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.

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

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

215. Радиационный захват нейтронов: Справочник / Т.С. Беланова, А.В. Игнатюк, А.Б. Пашченко, В.И. Пляскин. М: Энергоатомиздат, 1986. 248с.

216. Kukulin V.I., Neudatchin V.G., Obukhovsky I.T. and Smirnov Yu.F. Clusters as subsystems in light nuclei, in: Clustering Phenomena in Nuclei edited by K. Wildermuth and P. Kramer .Vieweg. Braunschweig. 1983. V.3. P.1.

217. 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., Wissak K., Eds. IOP Publishing Ltd. Bristol. England. 1993. P.169.

218. Arai K., Baye D., Descouvemont P. Microscopic study of the  ${}^6\text{Li}(\text{p},\gamma){}^7\text{Be}$  and  ${}^6\text{Li}(\text{p},\alpha){}^3\text{He}$  reactions // Nucl. Phys. 2002. V. A699. P. 963-975.

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

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

221. 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.

222. Jarczyk L. et al. ( $\text{n},\gamma$ ) spectrum for lithium and beryllium // Helv. Phys. Acta 1961. V.34. P.483-484.

223. Jurney E.T. Thermal capture cross sections for  ${}^6\text{Li}$  and  ${}^7\text{Li}$  // U.S. Nucl. Data Comm. 1973. №9. P.109.

224. Chang Su Park, Gwang Min Sun, H.D. Choi Determination of thermal neutron radiative capture cross section of  ${}^6\text{Li}$  // Nucl. Instr. Meth. 2006. V.B245. P.367-370.

225. 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.

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

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

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

229. Ohsaki T. et al. New measurement of the  ${}^{12}\text{C}(\text{n},\gamma){}^{13}\text{C}$  reaction cross section / Astrphys. J. 1994. V.422. P.912.

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

231. 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.

232. Krauss H. et al. The astrophysical S-factor of the reaction  ${}^7\text{Be}(\text{p},\gamma){}^8\text{B}$  in the direct capture model // Ann. der Phys. 1993. V.2. P.258-

266.

233. Trache L. et al. Asymptotic normalization coefficients for  ${}^8\text{B} \rightarrow {}^7\text{Be} + \text{p}$  from a study of  ${}^8\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Li} + \text{n}$  // rXiv:nucl-ex/0304016v1 21 Apr 2003.
234. Schmelzbach P. et al. Phase shift analysis of  $\text{p}^2\text{H}$  elastic scattering // Nucl. Phys. 1972. V. A197. P. 273-289; Arvieux J. Analyse en dephasages des sections efficaces et polarisations dans la diffusion elastique  $\text{p}^2\text{H}$  // Nucl. Phys. 1967. V. A102. P. 513-528; Chauvin J., Arvieux J. Phase shift analysis of spin correlation coefficients in  $\text{p}^2\text{H}$  scattering // Nucl. Phys. 1975. V. A247. P. 347-358; Huttel E. et al. Phase shift analysis of  $\text{p}^2\text{H}$  elastic scattering below break-up threshold // Nucl. Phys. 1983. V. A406. P. 443-455.
235. Griffiths G.M., Larson E.A., Robertson L.P. The capture of proton by deuteron // Can. J. Phys. 1962. V. 40. P. 402-411.
236. Ma L. et al. Measurements of  ${}^1\text{H}(\text{d} \rightarrow, \gamma){}^3\text{He}$  and  ${}^2\text{H}(\text{p} \rightarrow, \gamma){}^3\text{He}$  at very low energies // Phys. Rev. 1997. V. C55. P. 588-596.
237. Schimd G.J. et al. The  ${}^2\text{H}(\text{p} \rightarrow, \gamma){}^3\text{He}$  and  ${}^1\text{H}(\text{d} \rightarrow, \gamma){}^3\text{He}$  reactions below 80 keV // Phys. Rev. 1997. V. C56. P. 2565-2681.
238. Casella C. et al. First measurement of the  $\text{d}(\text{p}, \gamma){}^3\text{He}$  cross section down to the solar Gamow peak // Nucl. Phys. 2002. V. A706. P. 203-216.
239. Tilley D.R., Weller H.R., Hasan H.H. Energy Levels of Light Nuclei  $A = 3$  // Nucl. Phys. 1987. V. A474. P. 1-60.
240. <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?rd#mid>
241. Киржниц Д.А. Содержится ли дейtron внутри тритона? // Письма в ЖЭТФ 1978. Т.28. С.479-481.
242. 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.
243. Faul D.D. et al. Photodisintegration of  ${}^3\text{H}$  and  ${}^3\text{He}$  // Phys. Rev. 1981. V.C24. P.849-873.
244. Bosch R. et al. Photodisintegration of  ${}^3\text{H}$  // Phys. Lett. 1964. V.8. P.120.
245. Nagai Y. et al. Measurement of the  ${}^2\text{H}(\text{n}, \gamma){}^3\text{H}$  reaction cross section between 10 and 550 keV // Phys. Rev. 2006. V.C74. P.025804-025811.

246. Mitev G. et al. Radiative neutron capture by deuterium // Phys. Rev. 1986. V.C34. P.389-400.
247. Trail C.C., Raboy S. Neutron capture by deuterium // BAP 1964. V.9. P.176.
248. Ohsaki T. et al. Role of multiparticle-multiphole states of  $^{18,19}\text{O}$  in  $^{18}\text{O}(\text{n},\gamma)^{19}\text{O}$  reactions at keV energy // Phys. Rev. 2008. V.C77. P.051303-051308.
249. Дубовиченко С.Б. Радиационный захват нейтронов на ядре  $^6\text{Li}$  при астрофизических энергиях // ЯФ 2012. Т.75; Dubovichenko S.B. Radiative capture of neutrons by  $^6\text{Li}$  at astrophysical energies // Phys. Atom. Nucl. 2012.
250. Mukhamedzhanov A.M., Timofeyuk N.K. // Sov. J. Nucl. Phys. 1990. V.51. P.431; Blokhintsev L.D., Mukhamedzhanov A.M. and Timofeyuk N.K. // Ukrainian J. Phys. 1990. V.35. P.341.
251. 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.
252. 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.
253. Bramblett R.L. et al. Photoneutron cross sections for  $^7\text{Li}$  // Proc. of Intern. Conf. Photonucl. React. Appl. California. 1973. V.1. P.175.
254. Green L., Donahue D.J. Photoneutron cross sections with monoenergetic neutron-capture gamma rays // Phys. Rev. 1964. V.B135. P.B701-705.
255. Itzykson C., Nauenberg M. Unitary groups: Representations and decompositions // Rev. Mod. Phys. 1966. V. 38. P. 95-101.
256. Дубовиченко С.Б. Фазовый анализ упругого  $\text{n}^{12}\text{C}$  рассеяния при низких энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2012; Dubovichenko S.B. Phase shift analysis of the elastic  $\text{n}^{12}\text{C}$  scattering at low energies // Rus. Phys. J. 2012 (In press).
257. Wallner A. et al. Measurement of the stellar cross sections for the reactions  $^9\text{Be}(\text{n},\gamma)^{10}\text{Be}$  and  $^{13}\text{C}(\text{n},\gamma)^{14}\text{C}$  via AMS // J. Phys. 2008. V.G35. P.014018.
258. Allen B.J., Macklin R.L. Neutron Capture Cross Sections of  $^{13}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}$  // Phys. Rev. 1971. V.C3. P.1737-1740.

259. Hennig G.R. Thermal Neutron Capture Cross Section of Carbon-13 // Phys. Rev. 1954. V.95. P.92-95.
260. Lane R.O. et al. States in  $^{14}\text{C}$  from  $\sigma_T$  and  $\sigma_{el}(\theta)$  for  $^{13}\text{C} + \text{n}$ : Measurement, R-matrix analysis, and model calculations // Rhys. Rev. 1981. V.C23. P.1883-1897.
261. 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.
262. Lakma Fernando, Renato Higa and Gautam Rupak // arXiv:1109.1876v1 [nucl-th] 9Sep 2011.
263. 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.
264. Nagai Y. et al.  $^7\text{Li}(n,\gamma)^8\text{Li}$  reaction and the  $S_{17}$  factor at  $E_{c.m.} > 500$  keV // Phys. Rev. 2005. V.C71. P.055803-055811.
265. Weischer M., Steininger R., Kaeppler F.  $^7\text{Li}(n,\gamma)^8\text{Li}$  trigger reaction to a primordial r-process ? // Astrophys. J. 1989. V.344. P.464.
266. Blackmon J.C. et al. Measurement of  $^7\text{Li}(n,\gamma_0)^8\text{Li}$  cross sections at  $E_n = 1.5 - 1340$  eV // Phys. Rev. 1996. V.C54. P.383-388.
267. 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.
268. Дубовиченко С.Б. Радиационный  $n^2\text{H}$  захват при низких энергиях // Изв. ВУЗов Физика 2012; Dubovichenko S.B. Radiative capture  $n^2\text{H}$  at low energies // Rus. Phys. J. 2012 (In press).
269. Дубовиченко С.Б. Радиационный  $n^7\text{Li}$  захвата при низких энергиях // ЯФ 2012; Dubovichenko S.B. Radiative capture  $n^7\text{Li}$  at low energies // Phys. Atom. Nucl. 2012 (In press).
270. Dubovichenko S.B., Burkova N.A. Radiative neutron capture by  $^{12}\text{C}$  and  $^{13}\text{C}$  // 2012 (In press).



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