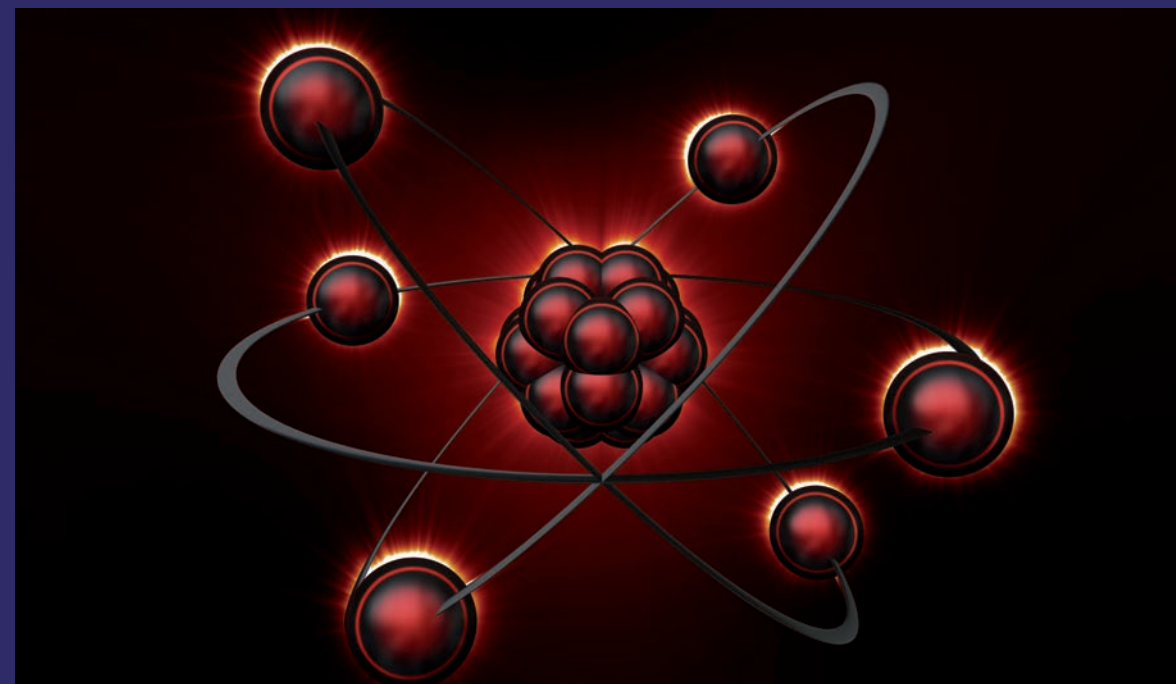


Данная книга является дополненным и переработанным изданием первой части предыдущей книги автора «Первичный нуклеосинтез Вселенной» 2014г. 668с. Первая глава содержит описание основных методов расчета базовых характеристик для связанных состояний и континуума квантовых систем, а также методы проведения фазового анализа упругого рассеяния ядерных частиц. Вторая глава непосредственно посвящена методам поиска фаз упругого рассеяния, компьютерным программам и результатам фазового анализа упругого рассеяния $4\text{He}4\text{He}$, $n3\text{He}$, $p6\text{Li}$, $p12\text{C}$, $n12\text{C}$, $p13\text{C}$, $p14\text{C}$, $n16\text{O}$, $p16\text{O}$ и $4\text{He}12\text{C}$ ядерных частиц при низких и астрофизических энергиях. Эти результаты могут применяться для построения ядерных потенциалов в различных задачах ядерной астрофизики. Третья глава приводит результаты трехтельных расчетов для некоторых легких атомных ядер с использованием парных потенциалов, полученных на основе результатов выполненного фазового анализа.

Фазовый анализ в ядерной астрофизике



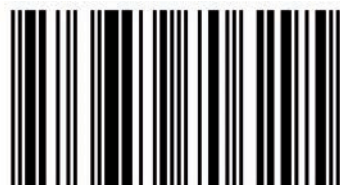
Сергей Борисович Дубовиченко

Фазовый анализ

в ядерной астрофизике



Академик ЕАЕН, академик ПАНИ, академик РАЕ, академик МАИИ Республики Казахстан (РК), доктор физико-математических наук РК и Российской Федерации, профессор, член Американского физического общества, член Европейского физического общества, зав. лабораторией Ядерной Астрофизики, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова НЦКИТ, г. Алматы, РК.



978-3-659-70629-5

Дубовиченко



Сергей Борисович Дубовиченко

Фазовый анализ

Сергей Борисович Дубовиченко

Фазовый анализ
в ядерной астрофизике

LAP LAMBERT Academic Publishing

Impressum / Выходные данные

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

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

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

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

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

Verlag / Издатель:

LAP LAMBERT Academic Publishing

ist ein Imprint der / является торговой маркой

OmniScriptum GmbH & Co. KG

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

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

Herstellung: siehe letzte Seite /

Напечатано: см. последнюю страницу

ISBN: 978-3-659-70629-5

Copyright / АВТОРСКОЕ ПРАВО © 2015 OmniScriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Все права защищены. Saarbrücken 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
----------------------	----------

I. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ

ШРЕДИНГЕРА.....	9
------------------------	----------

<i>Введение</i>	<i>9</i>
-----------------------	----------

1.1 Общие методы решения уравнения

<i>Шредингера</i>	<i>11</i>
-------------------------	-----------

<i>1.1.1 Центральные действительные потенциалы</i>	<i>11</i>
--	-----------

<i>1.1.2 Центральные комплексные потенциалы</i>	<i>15</i>
---	-----------

1.2 Численные методы решения уравнения

<i>Шредингера</i>	<i>20</i>
-------------------------	-----------

<i>1.2.1 Центральные действительные потенциалы</i>	<i>20</i>
--	-----------

<i>1.2.2 Центральные комплексные потенциалы</i>	<i>22</i>
---	-----------

<i>1.2.3 Метод Рунге-Кутта для центральных действительных потенциалов</i>	<i>23</i>
---	-----------

<i>1.2.4 Вычисление волновых функций методом Нумерова</i>	<i>27</i>
---	-----------

<i>1.2.5 Методы вычисления энергии связи двухчастичной системы</i>	<i>30</i>
--	-----------

<i>1.2.6 Методы расчета кулоновских фаз</i>	<i>40</i>
---	-----------

<i>1.2.7 Методы расчета кулоновских функций</i>	<i>47</i>
---	-----------

<i>1.3 Программа расчета фаз рассеяния для центральных действительных потенциалов</i>	<i>56</i>
---	-----------

<i>1.4 Программа расчета фаз рассеяния для центральных комплексных потенциалов</i>	<i>70</i>
--	-----------

<i>1.5 Построение межкластерных потенциалов</i>	<i>78</i>
---	-----------

<i>1.6 Потенциалы и волновые функции</i>	<i>81</i>
--	-----------

<i>1.7 Методы фазового анализа</i>	<i>83</i>
--	-----------

<i>1.8 Общие принципы трехтельной модели</i>	<i>85</i>
--	-----------

<i>1.9 Вариационные методы трехтельной модели</i>	<i>87</i>
---	-----------

<i>Заключение</i>	91
II. ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ	93
<i>Введение</i>	94
<i>2.1 Фазовый анализ упругого ${}^4\text{He}{}^4\text{He}$ рассеяния</i>	96
2.1.1 Обзор эксперимента по упругому ${}^4\text{He}{}^4\text{He}$ рассеянию.....	96
2.1.2 Методы фазового анализа упругого ${}^4\text{He}{}^4\text{He}$ рассеяния	98
2.1.3 Проверка компьютерной программы	101
2.1.4 Программа для ${}^4\text{He}{}^4\text{He}$ и ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ фазового анализа	104
<i>2.2 Фазовый анализ упругого ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ рассеяния</i>	118
2.2.1 Дифференциальные сечения.....	118
2.2.2 Фазовый анализ	119
<i>2.3 Фазовый анализ упругого N^{12}C, p^{14}C и N^{16}O рассеяния</i>	134
2.3.1 Дифференциальные сечения.....	134
2.3.2 Контроль компьютерной программы	137
2.3.3 Фазовый анализ p^{12}C рассеяния.....	141
2.3.4 Фазовый анализ упругого n^{12}C рассеяния	146
2.3.5 Фазовый анализ упругого p^{14}C рассеяния	155
2.3.6 Фазы и потенциалы n^{16}O рассеяния.....	163
2.3.7 Фазовый анализ p^{16}O рассеяния.....	171
2.3.8 Программа для N^{12}C , p^{14}C и N^{16}O фазового анализа	193
<i>2.4 Фазовый анализ упругого p^6Li рассеяния</i>	205
2.4.1 Дифференциальные сечения.....	205
2.4.2 Фазовый анализ	206
2.4.3 Программа для фазового анализа.....	212
<i>2.5 Фазовый анализ и компьютерные программы для рассеяния частиц со спином $1/2+1/2$</i>	224
2.5.1 Система со спин-орбитальным взаимодействием.....	224

2.5.2 Система со спин-орбитой и синглет-триплетным смешиванием	241
2.5.3 Фазовый анализ упругого $p^{13}\text{C}$ рассеяния с учетом спин-орбиты.....	264
2.5.4. Фазовый анализ упругого $n^3\text{He}$ рассеяния	270
<i>Заключение</i>	280

III. ТРЕХТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ..... 281

<i>Введение</i>	282
3.1 <i>Трехтельные конфигурации ядра ^7Li и трехтельная программа</i>	283
3.1.1 Потенциалы и фазы	283
3.1.2 Компьютерная программа	287
3.1.3 Трехтельные результаты.....	307
3.2 <i>Трехтельная модель ядра ^9Be</i>	312
3.2.1 Потенциалы и фазы рассеяния.....	312
3.2.2 Трехтельные результаты и фотосечения	315
3.3 <i>Трехкластерная структура ^{11}B</i>	322
3.3.1 Потенциалы и фазы	323
3.3.2 Трехтельные результаты.....	325
<i>Заключение</i>	337

ЛИТЕРАТУРА..... 339

Дубовиченко С.Б.

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ

в ядерной астрофизике
и трехтельная модель

Рецензенты

Академик Европейской Академии естественных Наук, член-корр.
Российской Академии Естествознания, д.ф.-м.н. РК, профессор

Буртебаев Н.Т. (ИЯФ, Алматы, РК)
д.ф.-м.н. РК и РФ, профессор **Буркова Н.А.**
(КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, РК),

ВВЕДЕНИЕ

Во многих задачах ядерной физики низких энергий и ядерной астрофизики требуется знание фаз упругого рассеяния, которые могут быть определены из дифференциальных сечений рассеяния различных ядерных частиц [1]. Такие фазы используются, в частности, для построения межкластерных потенциалов взаимодействия, например, в потенциальной кластерной модели (ПКМ) легких атомных ядер [2]. Процедура фазового анализа состоит в разложении полной амплитуды рассеяния в ряд по парциальным волнам или амплитудам и анализе, появляющихся при этом параметров, называемых фазами рассеяния. Такие фазы позволяют получать сведения о природе сильных взаимодействий, структуре резонансных состояний и общем строении атомного ядра [1].

В ядерной физике низких энергий двухчастичные процессы с образованием резонансов также принято исследовать с помощью фазового анализа. Для того чтобы решить эту задачу необходимо детально рассмотреть энергетическое поведение резонансной парциальной амплитуды рассеяния [1,3]. В результате, фазовый анализ играет большую роль в поиске ядерных резонансов процессов рассеяния и определения их квантовых чисел. Исследование процессов рассеяния с помощью фазового анализа позволяет прояснить многие важные аспекты взаимодействий ядерных частиц, поскольку такой анализ основан лишь на самых общих законах сохранения и тесно связан с экспериментальными данными [1,3].

Задача определения или извлечения ядерных фаз из сечений упругого рассеяния в математическом плане сводится к многопараметрической вариационной задаче. Иными словами, когда известны экспериментальные сечения рассеяния ядерных частиц и математические выражения, полученные в квантовой механике, которые описывают эти сечения в зависимости от некоторых параметров δ_L - ядерных фаз рассеяния, возникает многопараметрическая вариационная задача нахождения этих параметров на заданном интервале значений с учетом обобщенной теоремы Левинсона [4]. В разных ядерных системах в зависимости от энергии сталкивающихся частиц, число фаз упругого

рассеяния может меняться от $1 \div 3$ до $10 \div 20$ [5].

Данная книга непосредственно основана на результатах примерно двух десятков научных статей, опубликованных, в основном, за последние пять-семь лет в России, Европе, США и странах СНГ и состоит из трех глав. Первая из них посвящена описанию общих математических методов расчета некоторых ядерных характеристик. Определены общие критерии и методы построения межкластерных потенциалов в непрерывном и дискретном спектре, которые используются далее для рассмотрения некоторых ядер в трехтельной модели, описанной в третьей главе.

Вторая глава содержит методы и результаты фазового анализа упругого рассеяния ядерных частиц ${}^4\text{He}^4\text{He}$, $n^3\text{He}$, $p^6\text{Li}$, $p^{12}\text{C}$, $n^{12}\text{C}$, $p^{13}\text{C}$, $p^{14}\text{C}$, $n^{16}\text{O}$, $p^{16}\text{O}$ и ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ при низких и астрофизических энергиях. Эти результаты используются для построения в ПКМ парных межкластерных потенциалов взаимодействия непрерывного спектра. Здесь будут рассмотрены различные экспериментальные измерения, методы расчетов дифференциальных сечений, компьютерные программы и результаты фазового анализа упругого рассеяния указанных выше частиц. Для первой системы ${}^4\text{He}^4\text{He}$ приводятся только основные выражения для фазового анализа, компьютерная программа и варианты контрольного счета при $25 \div 29$ MeV. Для остальных систем, кроме последней, рассматривается область энергий примерно до $1 \div 2.5$ MeV. В упругом ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ рассеянии фазовый анализ выполнен в области $1.5 \div 6.5$ MeV. Приведенные здесь области фазового анализа обусловлены наличием экспериментальных данных по дифференциальным сечениям для угловых распределений или функций возбуждения.

В третьей главе приводятся результаты, полученные в трехтельных одноканальных моделях некоторых легких атомных ядер, а именно, ${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$ и ${}^{11}\text{B}$. Они позволяют проверить адекватность построения на основе фаз упругого рассеяния и характеристик связанных состояний легких атомных ядер парных межкластерных потенциалов. Эти результаты позволяют выяснить применимость полученных потенциалов в трехтельных задачах. Проверенные таким образом потенциалы используются далее для расчетов некоторых основных характеристик термоядерных процессов первичного нуклеосинтеза Вселенной и некоторых Солнечных циклов [2].

Отметим, что вторая и, особенно, третья главы данной книги практически полностью совпадают с результатами, приведенными в соответствующих главах другой книги автора: «Первичный нуклеосинтез Вселенной» Germany, Saarbrücken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co. KG. 2014. 668с. [2]. Данный материал выделен в отдельную книгу «Фазовый анализ...» в первую очередь для того, чтобы сократить книгу [2] и обеспечить в дальнейшем возможность ее расширения и дополнения новым материалом по термоядерным реакциям при следующем переиздании. В тоже время, настоящая книга также может расширяться при включении в нее новых результатов по фазовому анализу или трехтельной модели.

Заключение

Тем самым, использованный альтернативный метод нахождения собственных значений обобщенной матричной задачи, рассматриваемой на основе вариационных методов решения уравнения Шредингера с использованием неортогонального вариационного базиса, избавляет нас от возможных неустойчивостей, возникающих в процессе применения обычных методов решения такой математической модели, т.е. обычного метода ортогонализации по Шмидту [196].

В рамках рассматриваемых вариационных методов, получены новые результаты для трехтельных моделей ядер ${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$ и ${}^{11}\text{B}$. Для этого использован неортогональный вариационный базис, независимое варьирование параметров, межкластерные потенциалы, чистые по схемам Юнга и согласованные с фазами упругого рассеяния в двухчастичных каналах. Все эти результаты позволяют правильно воспроизвести некоторые рассмотренные экспериментальные характеристики связанных состояний этих ядер и сечения некоторых фотоядерных процессов.

Еще раз обратим внимание, что рассмотренная трехтельная модель позволяет, в частности, провести определенную проверку построенных по фазам рассеяния парных межкластерных потенциалов. Получаемые на ее основе результаты позволяют убедиться в целесообразности дальнейшего использования подобных взаимодействий для расчетов, связанных с рассмотрением некоторых, в том числе, астрофизических характеристик ядерных систем и термоядерных реакций. Например, это могут быть астрофизические S -факторы или полные сечения процессов радиационного захвата нуклонов на легких атомных ядрах при низких и сверхнизких энергиях, которые протекали во Вселенной на разных стадиях ее образования, формирования и развития [4,80,81,186].

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитиу Ф. Фазовый анализ. М.: Мир. 1983. 416с.; Nitchitiu F. Phase shifts analysis in physics. Romania: Acad. Publ. 1980. 416p.
2. Дубовиченко С.Б. Первичный нуклеосинтез вселенной. Третье изд. книги «Избранные методы ядерной астрофизики», исправленное и дополненное. Germany, Saarbrucken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co. KG. 2014. 668с. Dubovichenko S.B. Primordial nucleosynthesis of the Universe. Third edition of the book “Selected method for nuclear astrophysics”, corrected and added. Germany, Saarbrucken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co. KG. 2014. 668p.
3. Никитиу Ф. Методы определения резонансов в фазовом анализе // ЭЧАЯ 1981. Т.12. №4. С.805-847.
4. 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).
5. 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.
6. 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.
7. 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 for the calculation of neutron cross-sections. М.:Atomizdat 1970. 304p.
8. Хюльтен Л., Сугавара М. Проблема взаимодействия двух нуклонов // Структура атомного ядра. М.: ИЛ 1959. С.9; Structure of atomic nuclei, Ed. Flugge S., Springer – Verlag, Berlin - Gottingen – Heidelberg, 1957.
9. Мотт Н., Месси Г. Теория атомных столкновений. М.: Мир 1969.

756с.; Mott N., Massy H. The theory of atomic collisions, Oxford, Clarendon Press, 1965.

10. 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).

11. Браун Д.Е., Джексон А.Д. Нуклон - нуклонные взаимодействия, М.: Атомиздат. 1979. 246с.; Brown G.E., Jackson A.D. The nucleon - nucleon interaction, North - Holland Publishing Company, Amsterdam, 1976.

12. Бейтмен Г., Эрдейн А. Справочная математическая библиотека. Высшие трансцендентные функции. Т.2. // М.: Наука 1968. 295с.

13. Лебедев Н.Н. Специальные функции и их приложения. //М.: Физ.мат.лит. 1963. 358с.

14. Дубовиченко С.Б. Программа расчета действительных фаз ядерного рассеяния // Вестник Каз.ГАСА, Алматы, 2003, №9/10, С.220-227.

15. Дубовиченко С.Б. Компьютерная программа и методы расчета комплексных фаз ядерного рассеяния. Тезисы докл. Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании., Каз.НУ, Алматы, Казахстан, 6 - 10 октября 2004; http://www.ict.nsc.ru/ws/show_abstract.dhtml?ru+110+7834+S.

16. Попов Б.А., Теслер Г.С. Вычисление функций на ЭВМ. // Киев: Наукова думка 1984. 598с.

17. <http://physics.ucsc.edu/~peter/242/numerov.pdf> .

18. Дубовиченко С.Б., Чечин Л.М. Численные методы решения уравнения Шредингера // Вестник АГУ, физ.-мат. сер., Алматы, 2004, №9, С.82-87.

19. Фильчаков П.Ф. Численные и графические методы прикладной математики. Киев: 1970. 792с.

20. Дымарский Я.С. и др. Справочник программиста. Л.: 1963. 628с.

21. Положий Г.Н. и др. Математический практикум. М.: Физ. - мат. литература 1960. 512с.

22. Данилина Н.И. и др. Численные методы. М.: Высшая школа 1976. 368с.

23. 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).

24. Загуский В.Л. Справочник по численным методам решения уравнений. М.: Физ. мат. лит. 1960. 215с.

25. Мелентьев П.В. Приближенные вычисления. М.: Физ. мат. лит. 1962. 387с.

26. Демидович Б.П., Марон И.Ф. Основы вычислительной математики. М.: Наука 1966. 664с.

27. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Мир 1974. 832с.

28. 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).

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

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

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

32. 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.

33. 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.

34. 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).

35. 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).

36. 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).

37. 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.

38. 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).

39. 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.

40. Янке Е., Емде Ф., Леш Ф. Специальные функции. М.: Наука 1968. 344с.; Janke - Emde - Losch. Tafeln hoherer funktionen, Stuttgart, 1960.

41. Люк Ю. Специальные математические функции и их аппроксимация. М.: Мир 1980. 608с.

42. Melkanoff M. A fortran program for elastic scattering analysis with nuclear optical model // Univ. California Pres., Berkley, Los Angeles, 1961, 116p.

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

44. Melkanoff M. Nuclear optical model calculations. // Meth. in Comput. Phys., Acad. press, N-Y, 1966, V.6, P.1-80.
45. Gody W.J., Hillstrom K.E. Chebyshev approximations for the coulomb phase shifts // Meth. Comput., 1970, V.111, P.671-677.
46. Smith W.R. Nuclear penetrability and phase shift subroutine // Usics Communs., 1969, V.1, P.106-112.
47. Froberg C.E. Numerical treatment of Coulomb wave functions // Rev. Mod. Phys., 1955, V.27, P.399-411.
48. Abramowitz M. Tables of Coulomb wave function, v.1, Washington, N.B.S., 1952, 141p.
49. Barnet A., et al. Coulomb wave function for all real η and ρ // Comput. Phys. Comm., 1974, V.8, P.377-395.
50. Данилов В.Л. и тд. Справочная математическая библиотека. Математический анализ. Функции, пределы, цепные дроби. М.: Физ.мат.лит. 1961. 439С.
51. Кузнецов Д.С. Специальные функции. М.: Высшая школа 1965. 272с.
52. Дубовиченко С.Б., Чечин Л.С. Методы расчета кулоновских функций и фаз рассеяния // Вестник АГУ, физ.-мат. сер., Алматы, 2003, Т.1(7), С.115-122.
53. Абрамовиц М. Справочник по специальным функциям. М.: Наука 1979. 830с.; Handbook of mathematical functions. Edit. M. Abramowitz and I. Stegun. NBS., 1964.
54. Дубовиченко С.Б., Жусупов М.А. К вопросу о вычислении кулоновских волновых функций // Взаимодействие излучения с веществом, Алма - Ата, КазГУ, 1980, С.99-104.
55. Дубовиченко С.Б., Жусупов М.А. О вычислении кулоновских фаз рассеяния // Изв. АН Каз. ССР, сер. физ. - мат., 1981, № 6, С.24-26.
56. Reid R.V. Local phenomenological nucleon - nucleon potentials // Ann. Phys. 1968. V.50. P.411-448.
57. 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.
58. Neudatchin V.G., Kukulin V.I., Boyarkina A.N., Korennoy V.P. A microscopic substantiated optical potential for αt system including nucleon

exchange // Lett. Nuovo Cim., 1972, V.5, P.834-838.

59. Neudatchin V.G., Kukulin V.I., Korotkikh V.L., Korennoy V.P. A microscopically substantiated local optical potential for $\alpha\alpha$ scattering // Phys. Lett., 1971, V.34B, P.581-583.

60. Kurdyumov I.V., Neudatchin V.G., Smirnov Y.F., Korennoy V.P. The high energy limit for the αd form factors in the ${}^6\text{Li}$ nuclei // Phys. Lett., 1972, V.40B, P.607-610.

61. Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Запрещенные состояния в системах двух и трех составных частиц // Современные вопросы оптики и атомной физики, Киев, Киевский Гос. Университет, 1974, С.225-241.

62. Дубовиченко С.Б., Джазаиров - Кахраманов А.В. Кулоновские формфакторы ядер лития в кластерной модели на основе потенциалов с запрещенными состояниями // ЯФ, 1994, Т.57, № 5, С.784-791.

63. Van Niftrik G., Brokman K., Van Oers W. Elastic scattering of 51 MeV alpha particles from helium // Congr. Int. Phys. Nucl. Patis. 1964, V.2, P.858-860.

64. 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.

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

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

67. 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.

68. 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.

69. 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.

70. 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.

71. 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.

72. 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.

73. Варшалович Д.А., Москалев А.Н., Херсонский В.К. Квантовая теория углового момента. Л.: Наука 1973. 436с.; Varshalovich D.A., Moskaliev A.N., Khersonsky V.K. Quantum theory of angular momentum. L.: Nauka 1973. 436p.

74. 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.

75. 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.

76. http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mudjsearch_for=atomnuc!

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

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

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

80. 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.

81. Дубовиченко С.Б. Легкие ядра и ядерная астрофизика. Изд. второе, исправленное и дополненное. Saarbrucken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co. KG., 2013. 316с.; Dubovichenko S.B. Light nuclei and nuclear astrophysics. Second Edition, corrected and enlarged. Saarbrucken: Lambert

Academy Publ. GmbH&Co. KG. 2013. 316p.

82. 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.

83. 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.

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

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

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

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

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

89. Nilson R. et al. Alpha-Alpha particle scattering in the energy range 13 to 22.9 MeV // Phys. Rev. 1956. V.104. P.1673-1680.

90. Nilson R. et al. Investigation of excited states in ${}^8\text{Be}$ by α -particle scattering from Helium // Phys. Rev. 1958. V.109. P.850-860.

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

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

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

94. 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.

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

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

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

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

99. 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.

100. 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.

101. 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.

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

103. 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.

104. 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.

105. 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.

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

2008. №6. P.24-32.

107. 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.

108. 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; Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V. Astrophysical S -factor ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ radiative capture at low energies // Dokl. Nat. Acad. Sci. Rep. Kazakhstan. 2009. №2. P.9-15.

109. 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.

110. 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.

111. 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.

112. Jahns M.F., Bernstein E.M. Polarization in $p\alpha$ scattering // Phys.

Rev. 1967. V.162. P.871-877.

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

114. 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.

115. 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.

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

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

118. 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.

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

120. 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.

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

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

123. 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.С64. P.034312(1-5); Horvath A. et al. Cross section for the astrophysical $^{14}\text{C}(n,\gamma)^{15}\text{C}$ reaction via the inverse reaction // *Astrophys. Jour.* 2002. V.570. P.926-933.

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

125. 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.

126. 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.

127. 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.

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

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

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

York, NOVA Sci. Publ. 2013. P.49-108.

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

132. Itzykson C., Nauenberg M. Unitary groups: Representations and decompositions // Rev. Mod. Phys. 1966. V. 38. P. 95-101.

133. Дубовиченко С.Б. Легкие ядра и ядерная астрофизика. Изд. второе, исправленное и дополненное. Germany, Saarbrücken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co. KG. 2013. 320с.; Dubovichenko S.B. Light nuclei and nuclear astrophysics. Second Edition, corrected and enlarged. Germany, Saarbrücken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co. KG. 2013. 320p.

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

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

136. 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.

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

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

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

140. Okazaki A. Scattering of polarized neutrons by heavy nuclei //

Phys. Rev. 1955. V.99. P.55-58.

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

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

143. Дубовиченко С.Б. Методы расчета ядерных характеристик. Ядерные и термоядерные процессы. Изд. второе, исправленное и дополненное. Germany, Saarbrücken: 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. Germany, Saarbrücken: Lambert Acad. Publ. GmbH&Co. KG. 2012. 425p.; [https://www.lap-publishing.com/catalog/details //store/ru/book/978-3-659-21137-9/metody-rascheta-yadernyh-kharacteristic](https://www.lap-publishing.com/catalog/details//store/ru/book/978-3-659-21137-9/metody-rascheta-yadernyh-kharacteristic). (in Russian).

144. 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.

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

146. Salisbury S.R. and Richards H.T. ^{17}F Level Parameters // Phys. Rev. 1962. V.126. P.2147-2158.

147. Henry R.R., Philips G.C., Reich C.W., and Russell J.L. Elastic scattering of proton by Oxygen in the energy region of 2.5 to 5/6 MeV // Bull. Amer. Phys. Soc. 1956. V.1. P.96.

148. Salisbury S., Hardie G., Oppliger L., and Bangle R. Proton-Oxygen Differential Scattering Cross Sections // Phys. Rev. 1962. V.126. P.2143-2146.

149. Blue R.A. and Haerberli W. Polarization of Protons Elastically Scattered by Oxygen // Phys. Rev. 1965. V.137. №2B. P.B284-B293.

150. Gomes V., Douglas R.A., Polga T. and Sala O. The $E_p = 2.66$ MeV resonance in $^{16}\text{O}(p,p)^{16}\text{O}$ // Nucl. Phys. 1965. V.A68.P.417-425.

151. Trachslin W. and Brown L. Polarization and phase shifts in $^{12}\text{C}(p,p)^{12}\text{C}$ and $^{16}\text{O}(p,p)^{16}\text{O}$ from 1.5 and 3 MeV // Nucl. Phys. 1967. V.A101. P.273-287.

152. Amirikas R., Jamieson D.N. and Dooley S.P. Measurement of

(p,p) elastic cross sections for C, O and Si in the energy range 1.0-3.5 MeV // Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. 1993. V.B77. P.110-116.

153. Gurbich A.F. Evaluation of non-Rutherford proton elastic scattering for oxygen // Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. 1997. V.B129. P.311-316.

154. Braun M., Fried T. Elastic backscattering cross section of proton on Oxygen // Z. Phys. 1983. V.A311. P.173-175.

155. Ramos A.R. et al. Measurement of (p,p) elastic differential cross-sections for carbon, nitrogen, oxygen, aluminium and silicon in the 500–2500 keV range at 140_ and 178_ laboratory scattering angles // Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. 2002. V.B190. P.95-99.

156 Chow H.C., Griffithsa G.M., Hall T.H. The $^{16}\text{O}(p,\gamma)^{17}\text{F}$ Direct Capture Cross Section with an Extrapolation to Astrophysical Energies // Can. Jour. Phys. 1975. V.53. P.1672-1687.

157. Luomajarvi M., Rauhala E. and Hautala M. Oxygen detection by non - Rutherford proton backscattering below 2.5 MeV // MIN 1985. V.B9. P.255-258.

158. Morlock R. et al. Halo Properties of the First $1/2^+$ State in ^{17}F from the $^{16}\text{O}(p,\gamma)^{17}\text{F}$ Reaction // Phys. Rev.Lett. 1997. V.79. P.3837-3840.

159. Burtebayev N.T., Dubovichenko S.B., Zazulin D.M., Jazairov-Kakhramanov A.V., Kerimkulov Zh.K., Nassurlla M., Mukhamejanov Y.S., Omarov Ch.T., Tkackenko A.S., Shmygaleva T.A. New measurements and phase analysis of elastic p ^{16}O -scattering at astrophysical energies // In press.

160. 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.

161. 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.

162. 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 ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^{16}\text{O}$ and ${}^{27}\text{Al}$ nuclei // The 5th Eurasian Conf. "Nucl. Sci. and its Appl.". Ankara, Turkey. 2008. P.40.

163. 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.

164. Skill M. et al. Differential cross section and analyzing power for elastic scattering of protons on ${}^6\text{Li}$ below 2 MeV // Nucl. Phys. 1995. V.A581. P.93-106.

165. 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.

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

167. 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.

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

169. 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.

170. 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.

171. 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.

172. 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.

173. Фаулер У.А. Экспериментальная и теоретическая ядерная астрофизика, поиски происхождения элементов // УФН. 1985. Т.145.

C.441-488; Fowler W.A. Experimental and Theoretical Nuclear Astrophysics: the Quest for the Original of the Elements. Nobel Lecture. Stockholm. 8 Dec. 1983.

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

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

176. Haesner B. et al. Measurements of the ^3He and the ^4He total neutron cross sections up to 40 MeV // Phys. Rev. 1983. V.C28. P.995-999.

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

178. Kankowsky R. et al. Elastic scattering of polarized protons on tritons between 4 and 12 MeV // Nucl. Phys. 1976. V.A263. P.29-46.

179. Дубовиченко С.Б., Омаров Ч.Т. Фазовый анализ упругого $n^3\text{He}$ рассеяния // Изв. ВУЗов Физика 2014. (В печати); Dubovichenko S.B., Omarov Ch.T. Phase shifts analysis of $n^3\text{He}$ elastic scattering // Rus. Phys. J. 2014. (In press).

180. 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.

181. 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).

182. 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.

183. Lehman D.R., Parke W.C. $A=6$ structure from three body dynamics

// Phys. Rev. Lett. 1983. V.50. P.98-101.

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

185. 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.

186. 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.

187. Дубовиченко С.Б. М1 процесс и астрофизический S -фактор реакции $p^2\text{H}$ захвата // Изв. ВУЗов Физика 2011. №2. С.28-34; Dubovichenko S.B. Contribution of the M1 process to the astrophysical S -factor of the $p^2\text{H}$ radiative capture // Rus. Phys. J. 2011. V.54. P.157-164; Дубовиченко С.Б. Астрофизический S -фактор радиационного захвата протонов на ядрах ^3H и ^7Li // ЯФ 2011. Т.74. С.378-390; Dubovichenko S.B. Astrophysical S factors for radiative proton capture by ^3H and ^7Li nuclei // Phys. Atom. Nucl. 2011. V.74. P.358-370.

188. Ali S., Ahmad A.A.Z., Ferdous N. A survey of $N^4\text{He}$ interaction // Prepr. Int. Center for Theor. Phys. 1984. IC/84/195. 108p.

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

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

191. 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.
192. 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.
193. 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.
194. 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.
195. Purcell J.E. et al. Energy levels of light nuclei $A=3$ // Nucl. Phys. 2010. V.A848. P.1-74.
196. Дубовиченко С.Б. Избранные методы ядерной астрофизики. Изд. третье, исправленное и дополненное. Germany, Saarbrucken: Lambert Academy Publ. 2013. 480с.; Dubovichenko S.B. Calculation method of the nuclear characteristics. Third edition, corrected and added. Germany, Saarbrucken: Lambert Academy Publ. 2013. 480с. (in Russian).
197. Tilley D.R. et al. Energy level of light nuclei $A=5,6,7$ // Nucl. Phys. 2002. V.A708. P.3-163.
198. Ajzenberg-Selove F. Energy levels of light nuclei $A=5-10$ // Nucl. Phys. 1979. V.A320. P.1-224.
199. 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.
200. Mueller P. et al. Nuclear charge radius of ^8He // Phys. Rev. Lett. 2007. V.99. P. 2501-2505.
201. Дубовиченко С.Б. Трехтелльная модель ядра ^7Li // Изв. РАН сер. физ. 2000. Т.64. С.2289-2292; Dubovichenko S.B. Three bode model of the ^7Li // Bull. Russ. Academy of Sci. Ser. Fiz. 2000. V.64. P.2289-2292.
202. 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.
203. 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.

204. 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.

205. 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.

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

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

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

209. Дубовиченко С.Б. Трехтельная модель ядра ${}^{11}\text{B}$ // ЖЭТФ 2011. Т.140. С.256-262; Dubovichenko S.B. A three body model of the ${}^{11}\text{B}$ nucleus // Jour. Exper. Theor. Phys. 2011. V.113. P.221-226.

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

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

Люблю книги
ljubljuknigi.ru



yes
I want morebooks!

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

Покупайте Ваши книги на
www.ljubljuknigi.ru

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

Buy your books online at
www.ljubljuknigi.ru

OmniScriptum Marketing DEU GmbH
Heinrich-Böcking-Str. 6-8
D - 66121 Saarbrücken
Telefax: +49 681 93 81 567-9

info@omniscrptum.com
www.omniscrptum.com

OMNIScriptum

