

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ**



**PHYSICO-MATHEMATICAL  
SERIES**

**2 (300)**

**НАУРЫЗ – СӘУІР 2015 ж.**

**МАРТ – АПРЕЛЬ 2015 г.**

**MARCH – APRIL 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА  
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

**Мұтанов Г. М.**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчечков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

**Г. М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

**G. M. Mutanov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**A.A. Ashimov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**I.N. Vishnievski**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 1991-346X**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 300 (2015), 66 – 72

## METHOD STRONGLY CONNECTED CHANNELS AND INELASTIC SCATTERING OF ALPHA PARTICLES AT EVEN ISOTOPES OF Ne, Mg

K. Baktybaev, A. Dalelkhankyzy, M.K. Baktybaev<sup>1</sup>

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,  
Institute of nuclear physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan<sup>1</sup>. E-mail: dal\_anar@mail.ru

**Keywords:** nucleus, nuclear states, nuclear reactions, the Hamiltonian.

**Abstract.** The processes of interaction of alpha particles with collective states of nucleus of Ne, Mg by strongly-connected channels of nuclear reactions are studied. As the collective Hamiltonian states the SU (5) symmetry models of interacting bosons are taken. Theoretically found angular distributions of cross sections are compared with their experimental values.

УДК 530.142

## МЕТОД СИЛЬНО-СВЯЗНЫХ КАНАЛОВ И НЕУПРУГИЕ РАССЕЙЯНИЯ АЛЬФА-ЧАСТИЦ НА ЧЕТНЫХ ИЗОТОПАХ Ne, Mg

К. Бактыбаев, А. Далелханкызы, Н.О. Койлык, М.К. Бактыбаев<sup>1</sup>

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
Институт ядерной физики НЯЦ РК<sup>1</sup>, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** ядро, ядерные состояния, ядерные реакции, гамильтониан.

**Аннотация.** Изучены процессы взаимодействия альфа-частиц с коллективными состояниями ядер неон, магний Ne, Mg методом сильно-связных каналов ядерных реакций. В качестве гамильтониана коллективных состояний взяты SU(5) симметрия модели взаимодействующих бозонов. Теоретически найденные угловые распределения сечений процессов сравнены с их экспериментальными величинами.

**I. Введение.** В теории ядерных реакций имеются более реалистические подходы, такие как метод сильной связи каналов (МССК). В качестве гамильтониана коллективных состояний ядер-мишеней, в этом методе, ранее использовался гамильтониан Бора-Маттельсона [1, 2].

В данной работе содержание этой теории МССК мы несколько видоизменили, приняв для описания коллективных состояний ядер-мишеней модель взаимодействующих бозонов (МВБ). Поскольку в работе изучается рассеяние ядерных частиц на сферических ядрах, то в гамильтониане МВБ оставляются члены, описывающие вибрационные состояния с SU(5)-симметрией. Для расчета используется также программа ECIS 88 [3] несколько видоизмененная с заменой потенциала связывания каналов реакции оператором взаимодействия частиц с бозонными коллективными возбуждениями ядер-мишеней.

В первой части работы излагается общая теория рассеяния частиц на коллективных состояниях ядер методом МССК с использованием МВБ, описывающей коллективные возбуждения как состояния взаимодействующих бозонов.

Теория прилагается к исследованию рассеяния  ${}^4\text{He}$  на основных состояниях легких ядер  ${}^{20}\text{Ne}$ , при энергии налетающей частицы  $E = 48,8$  МэВ и  ${}^{24}\text{Mg}$ , при энергии  $\alpha$ -частиц

$E = 50,5$  МэВ. В этом случае точно учитывается влияние первых возбужденных состояний  $2_1^+$  ядер на процессы рассеяния основным уровнем  $0_1^+$ . Параметры оптического потенциала взяты из систематики С.М.Перей [4] и Института Ядерной физики [5]. Слабые изменения параметров не превышали квадратичных ошибок указанных систематик.

**II. Уравнения ядерных реакций связанных каналов.** Предположим, что имеются возбужденные  $N_s$  состояний ядра-мишени, которые сильно связаны между собой с основным его состоянием посредством потенциалов связи между каналами реакций  $V_{св}$ . Обозначим спин, четность и энергию  $n$ -состояния  $I_n, \pi_n$  и  $\omega_n$ , соответственно. Если энергия падающей частицы (в системе центра масс) равна  $E_1$ , тогда энергия частицы, покидающей мишень из  $n$ -состояния равна  $E_n = E_1 - \omega_n$ .

Гамильтониан всей системы:

$$H = T + H_i + V(r, \theta, \varphi) = T + H_i + V_{diag} + V_{св}, \quad (1)$$

где  $T$  - кинетическая энергия налетающей частицы и  $H_i$  - Гамильтониан движения внутренних нуклонов ядра-мишени.

Потенциал взаимодействия налетающей частицы с мишенью разделим на диагональную часть и часть связывания каналов рассеяния частицы.

$$V(r, \theta, \varphi) = V_{diag} + V_{св} \quad (2)$$

волновая функция  $\Psi$  можно записать равенством:

$$\Psi = r^{-1} \sum_{J_n \ln j_n} R_{J_n \ln j_n}(r) \sum_{m_j M_n} (j_n I_n m_j M_n | JM) Y_{\ln j_n} \Phi_{I_n M_n}, \quad (3)$$

где  $\Phi_{I_n M_n}$  - волновая функция ядра-мишени в  $n$ -состоянии, которая определяется из решения уравнения:

$$H_i \Phi_{I_n M_n} = \omega_n \Phi_{I_n M_n} \quad (4)$$

Теперь, подставляя (2) и (3) в уравнение Шредингера и умножая (4) на  $(Y_{\ln j_n} \otimes \Phi_{I_n})_{JM}^*$  с левой стороны и интегрируя по всем координатам, за исключением радиальной переменной  $r$  и, деля уравнение на  $E_n$ , получаем уравнение:

$$\left( \frac{d^2}{d\rho_n^2} - \frac{\ln(\ln+1)}{\rho_n^2} - \frac{1}{E_n} + 1 \right) R_{J_n \ln j_n} = E_n^{-1} \sum_{n' \ln' j_n'} \langle (Y_{\ln j_n} \otimes \Phi_{I_n})_{JM} | V_{св} | (Y_{\ln' j_n'} \otimes \Phi_{I_n'})_{JM} \rangle R_{J_n' \ln' j_n'}(r) \quad (5)$$

где  $\rho_n = k_n r$ ;  $k_n$  - волновое число.

Это уравнение представляет набор  $n$  связанных между собой уравнений. Эта система (5) носит название системы уравнений метода сильной связи каналов, а величины на правой стороне называются матричными элементами связи каналов.

Если в системе (5) учитываются  $V_{12}$  и  $V_{21}$  недиагональные матричные элементы. Тогда получаем систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} \left[ \frac{d^2}{d\rho_1^2} - \frac{l_1(l_1+1)}{\rho_1^2} + \frac{1}{E_1} V_{11} - 1 \right] R_1(\vec{r}) = -\frac{1}{E_1} V_{12} R_2(\vec{r}), \\ \left[ \frac{d^2}{d\rho_2^2} - \frac{l_2(l_2+1)}{\rho_2^2} + \frac{1}{E_2} V_{22} - 1 \right] R_2(\vec{r}) = -\frac{1}{E_2} V_{21} R_1(\vec{r}). \end{cases} \quad (6)$$

Эта система соответствует задаче об описании упругого и неупругого рассеяния, в которых участвуют кроме основного состояния еще одно возбужденное состояние ядра  $2_1^+$ .

В данной работе в качестве гамильтониана коллективных возбуждений используем гамильтониан модели взаимодействующих бозонов (МВБ)  $SU(3)$  симметрии и применим теорию к рассеянию частиц на вибрационных состояниях сферических ядер.

$$H_i = H_0 + \varepsilon(d^+ d) + \sum_{L=0,2,\eta} \frac{1}{2} (2L+1) c_L [d^+ \cdot d^+]^L [d \cdot d]^{L(0)}. \quad (7)$$

Явление взаимодействия налетающей частицы с ядром будем рассматривать феноменологически посредством оптического потенциала, радиальная зависимость которого предполагается, имеет вид Вудс-Саксоновской функции:

$$V_{\text{опт}} = (-V + iW)(1 + e)^{-1} - 4iW_D e'(1 + e')^{-2} - V_{SO} \left( \frac{\lambda^2}{ar} \right) (\vec{\sigma} \cdot \vec{l}) e(1 + e)^{-2} + \frac{ZZ'e^2}{2R_e} \left( 3 - \frac{r^2}{R_e^2} \right) \theta(R_e - r) - \frac{ZZ'e^2}{r} \theta(r - R_e) \quad (8)$$

В этом равенстве введено обозначение:

$$e = \exp\left(\frac{r - R_0}{a}\right); \quad e' = \exp\left(\frac{r - R'_0}{a'}\right)$$

где  $R_0, R'_0$  - средние радиусы оптического потенциала  $R_0 = r_0 A^{1/3}, R'_0 = r'_0 A'^{1/3}; V, W, W_D, V_{SO}$  - параметры оптического и спин-орбитального потенциалов взаимодействия.

Потенциал связи каналов можно в общей форме записать в виде:

$$V_{cs} = \sum_{i,\lambda} v_\lambda^{(i)}(r) (Q_\lambda^{(i)} \cdot Y_\lambda) \quad (9)$$

$Q_\lambda$  - оператор, действующий только на координаты ядра-мишени. Вычисление матричных элементов этого оператора дает:

$$\langle (Y_{lj} \otimes \Phi_l) JM | V_{cs} | (Y_{l'j'} \otimes \Phi_{l'}) JM \rangle = \sum_{i,\lambda} v_\lambda^{(i)}(r) \langle I || Q^{(i)} || I' \rangle A(l_j I, l'_j I', \lambda J), \quad (10)$$

$$A(l_j I, l'_j I', \lambda J) = \frac{1}{\sqrt{4\pi}} (-)^{j'-I'+l+l'} \sqrt{(2l+1)(2l'+1)(2j+1)(2j'+1)} (ll'00 \lambda 0) W(j l j' I'; J \lambda).$$

Приведем явное выражение операторов:  $Q_{\lambda\mu}^{(1)} = d^+ d$ ,

$$Q_{\lambda\mu}^{(2)} = \frac{\sqrt{4\pi}}{(2\lambda_1+1)(2\lambda_2+1)} (\lambda_1 \lambda_2 00 | \lambda 0) C_L(2L+1) (d^+ d^+)^L (dd)^L \quad (11)$$

Волновые функции различных вибрационных состояний со спином  $IM$  и с одним и двумя бозоннами:

$$|1; IM \rangle = d_{IM}^+ |0 \rangle, \quad |2; IM \rangle = \frac{1}{\sqrt{1 + \delta_{\lambda_1 \lambda_2}}} (d_{\lambda_1}^+ d_{\lambda_2}^+)_{JM} |0 \rangle$$

Для сферических ядер  $v^{(\lambda)}(r)$  имеет вид.

$$v^{(\lambda)}(r) = 4\pi \int_0^1 \frac{-(v + iw)}{1 + \exp\left[\frac{r - R_0}{a} \left(1 + \sum \beta_\lambda \varphi_{\lambda\mu}(\theta)\right)\right]} + \frac{-4iW_D \exp\left[\frac{r - R_0}{a} \left(1 + \sum \beta_\lambda \varphi_{\lambda\mu}(\theta)\right)\right]}{\left[1 + \exp\left[\frac{r - R_0}{a} \left(1 + \sum \beta_\lambda \varphi_{\lambda\mu}(\theta)\right)\right]\right]} \times Y_{\lambda\mu}(\theta) d \cos(\theta) \quad (12)$$

Решение системы зацепляющихся дифференциальных уравнений для радиальных функции  $R_{l_j j' j'}(\vec{r})$  с определенными граничными условиями дает возможность найти элементы  $S$  - матрицы и построить сечения упругого и неупругого рассеяния.

Которые выражаются в виде:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\pi^2}{\hbar^4} \mu^2 \frac{k'}{k} \frac{1}{2S+1} \sum_L B_L P_L(\cos \theta) \quad (13)$$

$$B_L = \sum_{l'l'j_1j_1'l_1l_1'} (-)^{l'-l} (2J+1)(2J_1+1) Z \left( l'l_1j_1 | \frac{1}{2}L \right) Z \left( l'j_1j_1'l_1' | \frac{1}{2}L \right) W(jJ_1J_1 | IL) W(j'J_1'J_1' | I'L) \cdot \\ \cdot \left| \langle JM l'j'I'T | J_1M_1l_1'j_1'I_1' \rangle \langle J_1M_1l_1'j_1'I_1' | T | JM l j I \rangle \right|^2$$

Здесь  $Z$  – коэффициенты Благга-Виденхарна,  $W$  – коэффициенты Рака, и

$$\langle \bar{K} S \mu'_S I' M'_A | T | \bar{K} S \mu_S I M_A \rangle = i^{l'-l} Y_{l'm-m'-\mu'_s}(\bar{K}) Y_{l'm-m'-\mu'_s}(\bar{K}') (IM - M_A - \mu_S S \mu_S | jM - M_A) \cdot \\ \cdot (IM_A jM - M_A | JM) (l'M - M'_A - \mu'_S S \mu'_S | j'M - M'_A) (I'M'_A j'M - M'_A | JM) \cdot \\ \cdot \langle l'j'I'JM | T | l j I JM \rangle \quad (14)$$

Отметим, что дифференциальное сечение (13) является общим и не зависит от того, в какой модели вычисляются элементы  $T$ - или  $S$ -матрицы.

**III. Приложения теории к рассеянию  $\alpha$ -частиц на легких вибрационных ядрах и сравнение их с экспериментальными данными.** Теория рассеяния  $\alpha$ -частиц, с учетом связывания каналов рассеяния, приложена к процессам происходящим на самых нижних состояниях сферических легких ядер  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{24}\text{Mg}$ . Мы рассмотрели рассеяния  $\alpha$ -частиц с энергиями близкими к 50 МэВ на основных состояниях указанных ядер. Для облегчения компьютерного счета и с целью анализа возможности теории учитывались влияние только первых возбужденных состояний с  $J = 2^+$  на основное состояние ядер. Такое рассмотрение связи каналов в этих ядрах можно считать приемлемым, поскольку, остальные возбужденные состояния находятся довольно высоко, примерно на 3 МэВ выше первого возбужденного состояния. Поэтому рассмотрим решения двух связанных между собой уравнений (6). Известно, что рассеяние  $\alpha$ - частиц на основных состояниях ядер описывается, в общем оптической моделью, с использованием комплексного Вудс-Саксоновского потенциала. Обычно получают в этом случае разумное соответствия вычисленных сечений с экспериментальными данными[5].

Для того чтобы анализировать упругое рассеяние  $\alpha$ - частиц на большие углы в некоторых работах [6,7] приходилось обобщить Вудс-Саксоновский потенциал с добавлением к нему еще член содержащий высокого порядка.

Недавно Мичел с сотрудниками [6] провели систематические оптико-модельные анализы рассеяния  $\alpha$ -частиц на сферических ядрах. Они дали новую параметризацию для действительной части потенциала.

В работе [8] было проведено экспериментальное исследование упругого  $\alpha$ - рассеяния на некоторых легких ядрах с  $A=11-24$  при энергиях  $\alpha$ - частиц  $E=48,7$  и  $54,1$  Мэв. Данные были анализированы различными типами оптического потенциала и в том числе Мичелского типа. Особое внимание было обращено на концепцию потенциала двойного-фолдинга.

По описываемому нами методу сильной связи каналов мы провели теоретические вычисления дифференциальных сечений процессов рассеяния  $\alpha$ -частиц на ядрах  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{24}\text{Mg}$  на всем угловом диапазоне от  $12^\circ$  до  $172^\circ$ . При определении теоретических значений  $d\sigma/d\theta$  из общего оптического потенциала исключена часть, отвечающая спин-орбитальному взаимодействию  $V_{sl}$ .

На рисунках 1 и 2 представлены угловое распределение дифференциальных сечений по углам рассеяния. На них сплошными линиями изображены экспериментальная картина рассеяния  $^4\text{He}$  частиц на ядре  $^{20}\text{Ne}$   $E=48,8 \pm 0,6$  Мэв и на ядре  $^{24}\text{Mg}$   $E=50.5 \pm 0.5$  МэВ. Пунктирным - расчетные значения.

Экспериментальные данные по сечениям процессов взяты из массива экспериментальных данных Института Ядерной физики Республики Казахстан [3, 5, 9], выполненных на изохронном циклотроне Института. В качестве параметров потенциалов взяты компиляции феноменологических оптико-модельных параметров, выполненных группой Перей [4], и из данных ИЯФ РК [5, 9]. В таблице 1 даны оптимальные параметры процессов взаимодействия при соответствующих энергиях налетающей частицы.



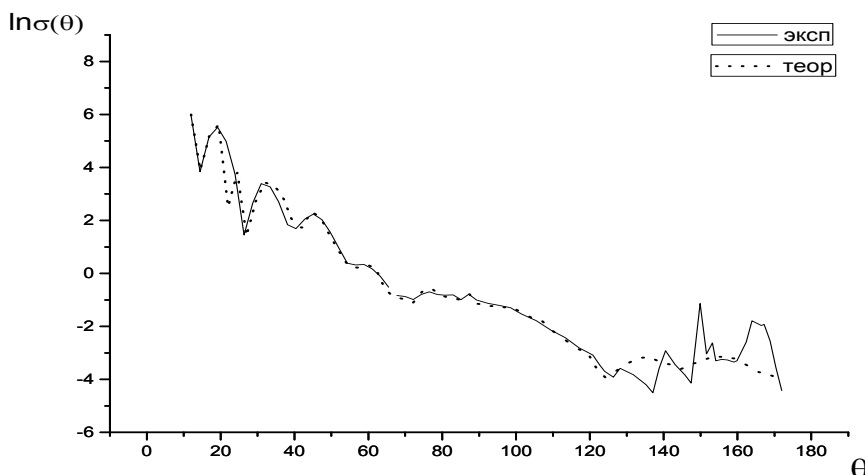


Рисунок 1 – Рассеяния  ${}^4\text{He}$  на основном состоянии  ${}^{20}\text{Ne}$

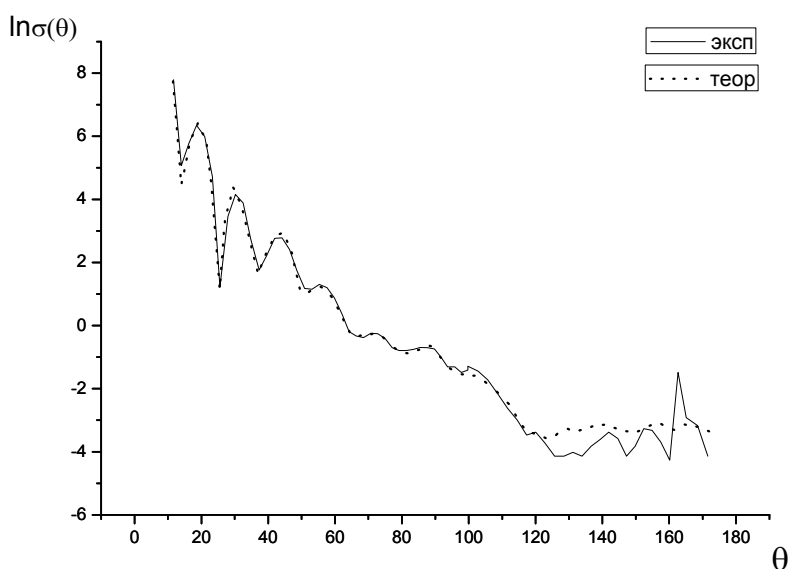


Рисунок 2 – Рассеяния  ${}^4\text{He}$  на основном состоянии  ${}^{24}\text{Mg}$

Таблица 1 – Оптимальные параметры взаимодействия  $\alpha$ -частиц с ядрами

Ядро	$E$ (МэВ)	$V_0$ (МэВ)	$r_0$ (Фм)	$a_0$ (Фм)	$Wr$ (МэВ)	$r_v$ (Фм)	$a_v$ (Фм)
${}^{20}\text{Ne}$	48,8	115,0	1,25	0,8	30,0	1,45	0,85
${}^{24}\text{Mg}$	50,5	100,0	1,30	0,75	35,0	1,40	0,75

Как видно из рисунков 1 и 2, при сравнении вычисленных сечений рассеяния с их экспериментальными значениями получим вполне согласованную картину. Особенно хорошее согласие имеется, в пределах среднеквадратичных ошибок экспериментального измерения  $\sigma(\theta)$ , в диапазоне углов от начало координат до углов  $125^\circ$ – $130^\circ$ . Однако теоретические величины сечения значительно отличаются от их экспериментальных значений на задних углах рассеяния в диапазоне больших углов от  $125^\circ$  до  $175^\circ$ . С самого начала можно было бы считать, что общее согласие по всему диапазону углов получим, если несколько изменим параметры оптических потенциалов. Однако, как показано в аналогичных исследованиях, получив удобное согласие на

задних углах рассеяния, в передних углах картина несколько изменится. В некоторых исследованиях для получения общей согласованной картины рекомендуется добавить дополнительный член в выражении оптического потенциала. В таком случае растет число подгоночных параметров. Подчеркнем, что теоретические угловые распределения сечений рассеяния получены нами при тех же значениях параметров, которые использовались в других анализах процессов по другим подходам, особенно, по оптической модели.

В то же время следует помнить, что в процессах рассеяния на задних углах лежит известная физическая причина, связанная с поглощением  $\alpha$ -частиц. Но это явление, по-видимому, лежит вне возможности теории сильно-связанных каналов.

**IV. Заключение.** Таким образом, вычислены матричные элементы операторов  $V_{св}$  связи различных каналов рассеяния налетающих частиц с коллективными состояниями ядер-мишеней и найдены решения системы уравнений Шредингера с учетом матричных элементов оператора связи каналов.

Найдены дифференциальные и интегральные сечения взаимодействия налетающих ядерных частиц с коллективными состояниями ядер. Развиваемая теория рассеяния сильно-связанных каналов их приложена к исследованию взаимодействия  ${}^4\text{He}$  частиц с основными состояниями легких ядер  ${}^{20}\text{Ne}({}^4\text{He}, {}^4\text{He}){}^{20}\text{Ne}$  при энергии налетающей частицы  $E = 48,8$  МэВ и  ${}^{24}\text{Mg}({}^4\text{He}, {}^4\text{He}){}^{24}\text{Mg}$  при энергии налетающей  $\alpha$ -частиц  $E = 50,5$  МэВ. При этом решались система неоднородных уравнений, связывающая первое возбужденное состояния  $2_1^+$  ядер с основными уровнями  $0_1^+$ . Слабое влияние других возбужденных уровней, находящихся на большой высоте порядка 3 МэВ учитывались эффективно корреляцией параметров оптического ядерного потенциала. В то же время эти параметры взяты из систематики С.М. Перей и Института Ядерной физики РК. Теоретически найденные угловые распределения сечений процессов в пределах углов от  $10^0$  по  $175^0$  сравнены с их экспериментальными величинами.

Предлагаемый вариант теории МССК, в целом удовлетворительно объясняет свойства процессов рассеяния ядерных частиц на коллективных бозонных состояниях сферических ядер.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бор. О., Маттelson Б. Структура атомных ядер. – М., 1972.
- [2] Tamura T. Analyses of the Scattering of Nuclear Particles by Collective Nuclei in Terms of the Coupled-Channel Calculation // Rev. Mod. Phys. -1965, -Vol. 37.-P. 679-708.
- [3] Reynal J. Coupled Channel Calculations and Computer Code ECIS-88. NEA Data Bank. CE-Saclay. F-91190.
- [4] Perey C. M., Perey F. G. Compilation of Phenomenological optical-model parameters // Atomic Data and Nucl. Data Tables, -1976, 17, -P. 3-7, 20-43.
- [5] Буртебаев Н.Т., Дуйсебаев А.Д., Иванов Г.Н. Упругое рассеяние 50 МэВ  $\alpha$ -частиц на ядрах  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{20}\text{Ne}$ ,  ${}^{24}\text{Mg}$  и  ${}^{28}\text{Si}$  // Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат. – 1984. – №6. – С.49-53.
- [6] Michel F., Vander poorten R. Differential cross sections for the  $\alpha$ - ${}^{16}\text{O}$  scattering over a wide energy range // Phys. Rev. - 1977. С. 16. -P.142.
- [7] Michel F. et. al. magic closed shell nucleus  ${}^{16}\text{O}$  has an  $\alpha$ - ${}^{16}\text{O}$  cluster structure // Phys. Rev. -1983. С.28. -P.1904.
- [8] Abele H., Hauser H.J. et. al. Measurement and Folding-Potential Analysis of the Elastic  $\alpha$ -scattering on Light Nuclei // Z. Phys. A. Atomic Nuclei.-1987. -Vol. 326 -P. 373-381.
- [9] McNeilly G.S., Thompson W.J., Van Rij W.I., Heydenburg N.P. Reaction mechanism studies in  ${}^{24}\text{Mg}(\alpha, \alpha'\gamma){}^{24}\text{Mg}$  // Nucl. Phys. – 1973. – Vol.A204. – P.321-336.

#### REFERENCES

- [1] Bor O., Mattelson B. Structure of atomic nucleus. - M., 1972. (in Russ.).
- [2] Tamura T. Analyses of the Scattering of Nuclear Particles by Collective Nuclei in Terms of the Coupled-Channel Calculation // Rev. Mod. Phys. -1965, -Vol. 37.-P. 679-708.
- [3] Reynal J. Coupled Channel Calculations and Computer Code ECIS-88. NEA Data Bank. CE-Saclay. F-91190.
- [4] Perey C. M., Perey F. G. Compilation of Phenomenological optical-model parameters // Atomic Data and Nucl. Data Tables, -1976, 17, -P. 3-7, 20-43.
- [5] Burtebaev N.T., Duisebayev A.D., Ivanov G.N. Elastic scattering of 50 MeV  $\alpha$  particles on nuclei  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{20}\text{Ne}$ ,  ${}^{24}\text{Mg}$  and  ${}^{28}\text{Si}$ . News of AS KazSSR. Ser. phys.-math. - 1984. - №6. - p.49-53. (in Russ.).

- [6] Michel F., Vander poorten R. Differential cross sections for the  $\alpha$ - $^{16}\text{O}$  scattering over a wide energy range // Phys. Rev. - 1977. С. 16. -P.142.
- [7] Michel F. et. al. magic closed shell nucleus  $^{16}\text{O}$  has an  $\alpha$ - $^{16}\text{O}$  cluster structure // Phys. Rev. -1983. С.28. -P.1904.
- [8] Abele H., Hauser H.J. et. al. Measurement and Folding-Potential Analysis of the Elastic  $\alpha$  -scattering on Light Nuclei // Z. Phys. A. Atomic Nuclei.-1987. -Vol. 326 -P. 373-381.
- [9] McNeilly G.S., Thompson W.J., Van Rij W.I., Heydenburg N.P. Reaction mechanism studies in  $^{24}\text{Mg}(\alpha, \alpha'\gamma)^{24}\text{Mg}$  // Nucl. Phys. – 1973. – Vol.A204. – P.321-336.

## КҮШТІ БАЙЛАНСҚАН КАНАЛДАР ӘДІСІ ЖӘНЕ АЛЬФА БӨЛШЕКТЕРДІҢ Ne, Mg ЯДРОЛАРЫНЫҢ ЖҰП ИЗОТОПТАРЫНДА ШАШЫРАУЫ

Қ. Бақтыбаев, А. Дәлелханқызы, М.Қ. Бақтыбаев<sup>1</sup>

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,  
ҚР ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан<sup>1</sup>

**Тірек сөздер:** ядро, ядерные состояния, ядерный реакции, гамильтониан.

**Аннотация.** Неон, магний Ne, Mg ядроларының коллективтік күйлерімен альфа бөлшектердің әсерлесу процесі күшті байланысқан ядролық каналдар теориясы бойынша зерттелді. Коллективтік күйлер гамильтонианы ретінде әсерлесуші бозондар моделінің SU(5) симметриясы алынды. Процестердің бұрыштық үйлесу қыймаларының табылған теориялық мәндері олардың эксперименттегі шамаларымен салыстырылды.

Поступила 17.03.2015 г.

**Publication Ethics and Publication Malpractice  
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

[physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

Редактор *М. С. Ахметова*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 20.03.2015.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
10,5 п.л. Тираж 300. Заказ 2.