

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ВИРТУАЛЬНЫЙ КАНАЛ РАСПАДА ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^5\text{He} + d$

Н.В. Афанасьева, Н.А. Буркова, К.А. Жаксыбекова, А.А. Уразалин
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, НИИЭТФ, г.Алматы

Представлены результаты исследования канала виртуального распада ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^5\text{He} + d$ в потенциальной кластерной модели. Построены функции ядра ${}^5\text{He}$ в αn - и dt -моделях как в координатном, так и импульсном представлениях.

Особенность канала ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^5\text{He} + d$ состоит в том, что ядро-остаток ${}^5\text{He}$ относится к классу так называемых экзотических ядер. В двухчастичном представлении его можно описывать двумя конфигурациями ${}^5\text{He}\{\alpha n\}$ и ${}^5\text{He}\{dt\}$, которые ортогональны друг другу.

Для ядра ${}^7\text{Li}$ используется двухкластерная αt -модель, которая была многократно и всесторонне апробирована [1, 2]. Таким образом, очевидно, что для построения радиальных волновых функций относительного движения в канале ${}^5\text{He} + d$ происходит перестройка виртуального α -частичного кластера. Для построения таких функций необходимо, в первую очередь, исследовать все возможные координатные преобразования, соответствующие перестройке исходной кластерной функции в конечный канал.

Далее в численных расчетах мы используем данные работ [1-4].

Волновые функции в представлении ${}^5\text{He}\{\alpha n\}$

Для построения радиальных волновых функций относительного движения в канале ${}^5\text{He} + d$ методом проектирования необходимо знать явный вид ВФ ядра ${}^5\text{He}$. Далее представлены данные по этому ядру в микроскопических МРГ и ТИМО представлениях, а также кластерная ВФ.

Координатная волновая функция ${}^5\text{He}\{\alpha n\}$ в МРГ расчетах имеет вид [3]:

$$R(r) = N \cdot r \left[\exp\left(-\frac{2}{5}\eta \alpha r^2\right) + c \exp\left(-\frac{2}{5}\xi \alpha r^2\right) \right], \quad (1)$$

где $\alpha = 0,514 \text{ фм}^{-2}$, $\eta = 0,20$, $\xi = 0,84$, $c = 0,344$, $\bar{r} = \bar{R}_\alpha - \bar{r}_n$, $N = 0,052342$ – нормировочный коэффициент.

В импульсном представлении функция (1) будет иметь вид:

$$a(\bar{q}) = \frac{N \cdot q \sqrt{\pi}}{8} \left[\frac{\exp\left(-\frac{5q^2}{8\eta\alpha}\right)}{(2/5\eta\alpha)^{5/2}} + c \frac{\exp\left(-\frac{5q^2}{8\xi\alpha}\right)}{(2/5\xi\alpha)^{5/2}} \right]. \quad (2)$$

Координатная волновая функция ${}^5\text{He}\{\alpha n\}$ осцилляторного вида:

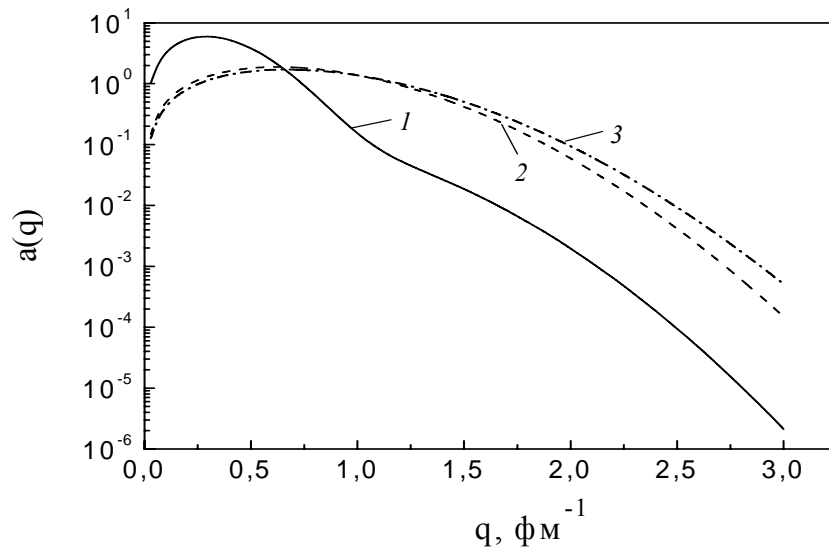
$$R_{1p}(r) = N_{1p} r \exp\left(-r^2 / 2r_0^2\right), \quad (3)$$

где нормировка $N_{1p} = -\frac{2\sqrt{6}}{3\sqrt{\pi} \cdot r_0^{5/2}}$, $\vec{r} = \vec{R}_\alpha - \vec{r}_n$, r_0 – осцилляторный параметр.

Соответствующее импульсное представление функции (3) имеет вид:

$$a_{1p}(\vec{q}) = q\sqrt{\frac{\pi}{2}}N_{1p}r_0^5 \exp(-q^2r_0^2/2). \quad (4)$$

Результаты расчетов волновых функций МРГ и ТИМО в импульсном представлении приведены на рисунке 1.



1 – волновая функция в МРГ расчетах; 2 – осцилляторная ВФ при значении осцилляторного параметра $r_0=1,6$ фм; 3 – осцилляторная ВФ при значении осцилляторного параметра $r_0= 1,5$ фм.

Рис. 1. Импульсное представление координатных волновых функций ${}^5\text{He}\{\alpha n\}$

Для построения *кластерной* ВФ необходимо решить уравнение Шредингера в $\alpha + n$ канале рассеяния для p -волны и далее аппроксимировать эту функцию в удобном для аналитических расчетов виде, разложив её по гауссовскому базису.

Далее используем следующие данные по массам соответствующих фрагментов, а также феноменологические потенциалы работы [1].

Итак, уточненные массы ядер (согласно <http://www-nds.iaea.org/amdc/masstabes/Ame2003/mass.mas03>): 1 а.е.м. = 931,494028(23) МэВ, нейтрон n (939,5654 МэВ), дейтрон d (1876,123), тритий t (2809,4316), альфа-частица ${}^4\text{He}$ (3728,4007) и ${}^7\text{Li}$ (6535,3656).

Массу ядра ${}^5\text{He}$ можно найти из следующего условия:

$$m_{{}^7\text{Li}} - m_{{}^5\text{He}} - m_d = Q_m = -9,522 \text{ МэВ.}$$

Тогда масса ядра ${}^5\text{He}$:

$$m_{{}^5\text{He}} = 4668,7646 \text{ МэВ.}$$

Энергию связи ядра ${}^5\text{He}$ в канале $\alpha+n$ или, другими словами, энергию, необходимую для того, чтобы разбить ядро ${}^5\text{He}$ на α -частицу и нейтрон, можно определить следующим образом:

$$\varepsilon_{c\alpha^5\text{He}\{\alpha+n\}} = \varepsilon_{c\alpha^5\text{He}} - \varepsilon_{c\alpha} = m_\alpha c^2 + m_n c^2 - m_{{}^5\text{He}} c^2.$$

Таким образом, подставляя в это выражение массы α -частицы, нейтрона и ядра ${}^5\text{He}$, получаем:

$$\varepsilon_{c\alpha^5\text{He}\{\alpha+n\}} = -0,7985 \text{ МэВ}.$$

Аналогично рассчитывается энергия связи ядра ${}^5\text{He}$ в канале $d+t$:

$$\varepsilon_{c\alpha^5\text{He}\{d+t\}} = m_d c^2 + m_t c^2 - m_{{}^5\text{He}} c^2 = 16,79 \text{ МэВ}.$$

Полученные численные значения энергии связи ядра ${}^5\text{He}$ в каналах $\alpha+n$ и $d+t$ находятся в хорошем согласии с данными работы [3]:

$$\varepsilon_{c\alpha^5\text{He}\{\alpha+n\}} = -0,798 \text{ МэВ},$$

$$\varepsilon_{c\alpha^5\text{He}\{d+t\}} = 16,792 \text{ МэВ}.$$

Аппроксимированная координатная волновая функция рассеяния в канале $\alpha+n$ имеет вид:

$$R_{3/2}^{(-)}(qr) = \frac{U_{3/2}(qr)}{qr} = r \sum_i C_i \exp(-\beta_i r^2). \quad (5)$$

Таблица 1. Коэффициенты C_i и β_i для волновой функции (5)

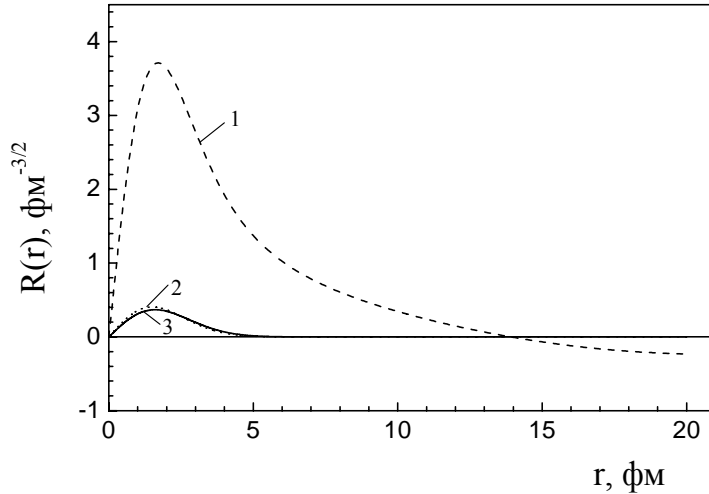
N п/п	l=1	
	$\beta_i, \text{фм}^{-2}$	$C_i, \text{фм}^{-5/2}$
1	0.617642474D-04	0.432409257D-01
2	0.973884318D-03	-0.977892955D-01
3	0.357404244D-02	0.409866382D-01
4	0.858562524D-02	0.807129352D-01
5	0.168849326D-01	0.534876978D-01
6	0.296661874D-01	0.116867715D+00
7	0.486583985D-01	0.163464982D+00
8	0.764720026D-01	0.308152606D+00
9	0.117200900D+00	0.502018862D+00
10	0.177532475D+00	0.924155622D+00
11	0.268920968D+00	0.105378254D+01
12	0.412147958D+00	0.557109496D+00
13	0.647735664D+00	0.374469371D-01
14	0.106241426D+01	0.688409520D-02
15	0.186662168D+01	-0.516668384D-02
16	0.367099445D+01	0.379043685D-02
17	0.881852567D+01	-0.280033689D-02
18	0.323629719D+02	0.975907365D-02
19	0.510292305D+03	0.426586095D+00

График функции (5) представлен на рисунке 2.

$$\tilde{R}_{3/2}^{(-)}(qr) = \frac{U_{3/2}(qr)}{r} = R_{3/2}^{(-)}(qr) \cdot q, \quad (6)$$

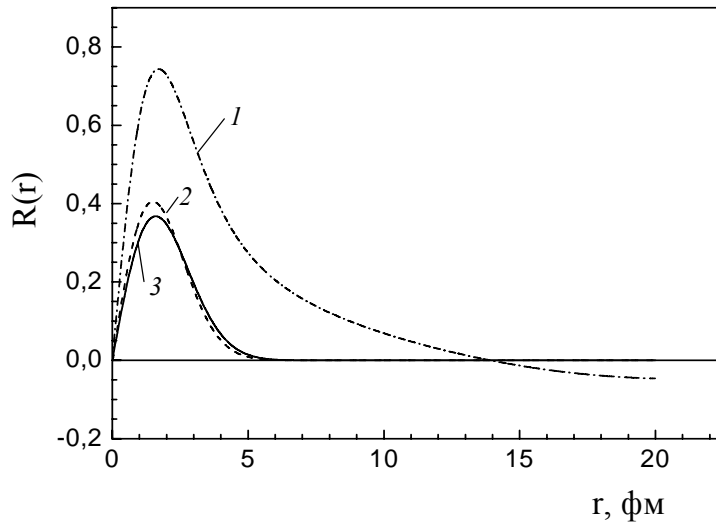
где $q = 0,20031 \text{ фм}^{-1}$.

График функции (6) представлен на рисунке 3.



1 – волновая функция рассеяния в канале $\alpha+n$; 2 – осцилляторная ВФ при значении осцилляторного параметра $r_0=1,5 \text{ фм}$; 3 – осцилляторная ВФ при значении осцилляторного параметра $r_0= 1,6 \text{ фм}$.

Рис. 2. Координатные волновые функции



1 – волновая функция рассеяния в канале $\alpha+n$; 2 – осцилляторная ВФ при значении осцилляторного параметра $r_0=1,5 \text{ фм}$; 3 – осцилляторная ВФ при значении осцилляторного параметра $r_0= 1,6 \text{ фм}$.

Рис. 3. Координатные волновые функции

Волновые функции в представлении ${}^5\text{He}\{dt\}$

Аппроксимированная координатная волновая функция ${}^5\text{He}\{dt\}$ (по данным Дубовиченко С.Б.) имеет вид:

$$R_1(\vec{r}) = r \sum_i C_i \exp(-\alpha_i r^2), \quad (7)$$

где $\vec{r} = \vec{R}_d - \vec{R}_t$ – относительная координата.

Таблица 2. Коэффициенты C_i и α_i для волновой функции (7)

N п/п	l=1	
	Нормировочный коэффициент N=1	
	$\alpha_i, \text{фм}^{-2}$	$C_i, \text{фм}^{-5/2}$
1	0.129098150D-02	-0.893314620D-07
2	0.105565460D-01	0.655526061D-06
3	0.286660414D-01	0.506625683D-05
4	0.567551357D-01	0.111246704D-02
5	0.972037974D-01	0.126133600D-01
6	0.154117177D+00	0.572350985D-01
7	0.234406448D+00	0.167457231D+00
8	0.350000009D+00	0.255934670D+00
9	0.522596575D+00	0.111941790D+00
10	0.794849802D+00	-0.226826970D-02
11	0.126023893D+01	-0.720125588D-03
12	0.215839519D+01	-0.251996690D-02
13	0.427334964D+01	-0.112733263D-02
14	0.116041772D+02	-0.159748322D-02
15	0.948891206D+02	-0.106149931D-02

В импульсном представлении функция (7) имеет вид:

$$a_1(\vec{q}) = \frac{q\sqrt{\pi}}{8} \sum_i \frac{C_i}{\alpha_i^{5/2}} \cdot \exp\left(-\frac{q^2}{4\alpha_i}\right). \quad (8)$$

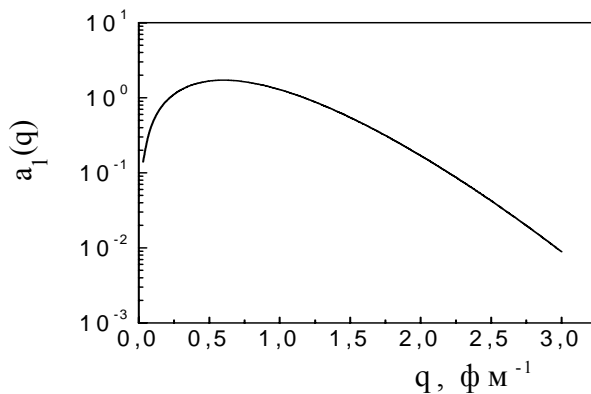


Рис. 4. Импульсное представление аппроксимированной координатной волновой функции (7)

Полученные данные – промежуточные для дальнейших расчетов спроектированных радиальных ВФ в канале ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^5\text{He} + d$, а также фотоядерных характеристик этого процесса.

Литература

1. Дубовиченко С.Б. Свойства легких атомных ядер в потенциальной кластерной модели. Алматы, 2004. 247 с.
2. Burkova N.A., Zhaksybekova K.A., Zhusupov M.A. One-nucleon spectroscopy of light nuclei // Phys. of Part. and Nucl. 2009. V. 40, No. 2. P. 162-205.
3. Tilley D.R., Cheves C.M. et al. Energy levels of Light Nuclei A=5// Nucl. Phys. A. 2002. V. 708. P. 1-225.
4. Junghans G., Bangert K. et al. The Photodisintegration of ${}^6\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}$ // Z. Physik A. 1979. V. 291. P. 353-365.

${}^7\text{Li} \rightarrow {}^5\text{He} + d$ ЫДЫРАУДЫҢ ВИРТУАЛДЫҚ КАНАЛЫ

Н.В. Афанасьева, Н.А. Буркова, К.А. Жақсыбекова, А.А. Уразалин

Потенциалдық кластерлік моделіндегі ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^5\text{He} + d$ ыдыраудың виртуалдық каналының зерттеу нәтижелері көрсетілген. ${}^5\text{He}$ ядросының αn - және dt -модельдеріндегі координаттық, сондай-ақ, импульстік көріністегі функциялары құрылды.

THE ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^5\text{He} + d$ VIRTUAL DISINTEGRATION CHANNEL

N.V. Afanasyeva, N.A. Burkova, K.A. Zhaksybekova, A.A. Urazalin

The results of research of the ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^5\text{He} + d$ virtual disintegration channel in potential cluster model are presented. The ${}^5\text{He}$ wave functions in αn - and dt -models are constructed in the coordinate and momentum representations.