N E W S
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES
ISSN 1991-346X
Volume 2, Number 306 (2016), 55–60

INVESTIGATION OF ELASTIC SCATTERING OF ^{3}He IONS FROM ^{13}C NUCLEI AT 50 AND 60 MeV IN OPTICAL AND FOLDING MODELS

N. Burtebayev[1], Zh.K. Kerimkulov[1], A.S. Demyanova[2], A.N. Danilov[2], D.M. Janseitov[3], T.K. Zholdybayev[1], D.K. Alimov[4]

[1]Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan,
[2]NRC Kurcatov Institute, Moscow, Russia,
[3]ENU, Astana, Kazakhstan,
[4]KazNU, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: janseit.daniar@gmail.com

Key words: elastic scattering, optic model, folding potential, normalization coefficients, FRESCO.

Abstract. Processes of elastic scattering of ^{3}He ions from ^{13}C nuclei at energies 50 and 60 MeV were studied in this paper. The differential cross sections were measured at laboratory system in the range 10^{0}-170^{0}. Analysis of elastic scattering was made within optical model. Both microscopic double folding potentials and phenomenological potentials were used for real part of complex nuclear potential. Imaginary part had the shape of phenomenological surface Woods-Saxon potential. The calculated theoretical cross sections are in good agreement with experimental data.

УДК 539.171

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ ^{3}He НА ЯДРАХ ^{13}C ПРИ ЭНЕРГИЯХ 50 И 60 МэВ В РАМКАХ ОПТИЧЕСКОГО И ФОЛДИНГ МОДЕЛЕЙ

Н. Буртебаев[1], Ж.К. Керимкулов[1], А.С. Демьянова[2], А.Н.Данилов[2], Д.М. Джансейтов[3], Т.К. Жолдыбаев[1], Д.К. Алимов[4]

[1]Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан
[2]НИЦ Курчатовский Институт, Москва, Россия
[3]ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[4]КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: упругое рассеяние, оптическая модель, фолдинг потенциал, нормировочные коэффициенты, FRESCO.

Аннотация. В данной работе исследованы процессы упругого рассеяния ионов ^{3}He при энергиях 50 и 60 МэВ. Дифференциальные сечения измерены в диапазоне углов 10^0-170^0 в лабораторной системе координат. Анализ упругого рассеяния был проведен в рамках оптической модели. В расчетах для действительной части комплексного ядерного потенциала были использованы как микроскопические потенциалы двойной свертки, так и феноменологические потенциалы. Мнимая часть имела форму феноменологического поверхностного Вудс-Саксонского потенциала. Теоретически рассчитанные сечения хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Введение. Рассеяние нуклонов и сложных ядерных частиц (дейтроны, а-частицы, тяжелые ионы) на ядрах является важным источникам информации о ядерной структуре [1]. Но параметры оптического потенциала (ОП) взаимодействия частиц с легкими ядрами при низких и средних энергиях, извлекаемые из анализа дифференциальных сечений упругого рассеяния в рамках оптической модели (ОМ), подвержены неоднозначностям и требуют надежных оценок.

С целью получения достоверной информации о потенциале ядерного взаимодействия, полученные на циклотроне ИЯФ РК экспериментальные данные [2] по рассеянию ионов ^{3}He с энергией 50,5 и 60 МэВ на ядрах ^{13}C анализируются как в рамках стандартной оптической модели с заданием потенциала в параметризованной форме и нахождением его параметров из сравнения теоретических сечений с экспериментальными, так и в рамках микроскопической модели, в которой потенциалы строятся на основе эффективных нуклон-нуклонных сил [3].

В данной работе проводится сопоставительный анализ упругого рассеяния ионов ^{3}He с ядрами ^{13}C в рамках оптической и фолдинг модели.

Методика и результаты эксперимента. Экспериментальные угловые распределения упругого рассеяния ионов ^{3}He на ядрах ^{13}C измерены на выведенных пучках изохронного циклотрона У-150М Института ядерной физики (г. Алматы, Казахстан) при энергиях E_h=50 и 60 МэВ [2].

В эксперименте использовалась самонесущая мишень углеродной пленки толщиной 1,2 мг/см^2 обогащенного изотопом ^{13}C до 86%. Регистрация и идентификация рассеянных продуктов реакции регистрировались ΔE-E телескопом кремниевых полупроводниковых детекторов, чьи толщины для ΔE телескопа 100 мкм, для E телескопа 2 мм соответственно. Дифференциальные сечения упругого рассеяния были измерены в лабораторной системе координат в диапазоне 10^0-170^0 для E_h = 50 МэВ и 10^0-150^0 для E_h = 60 МэВ.

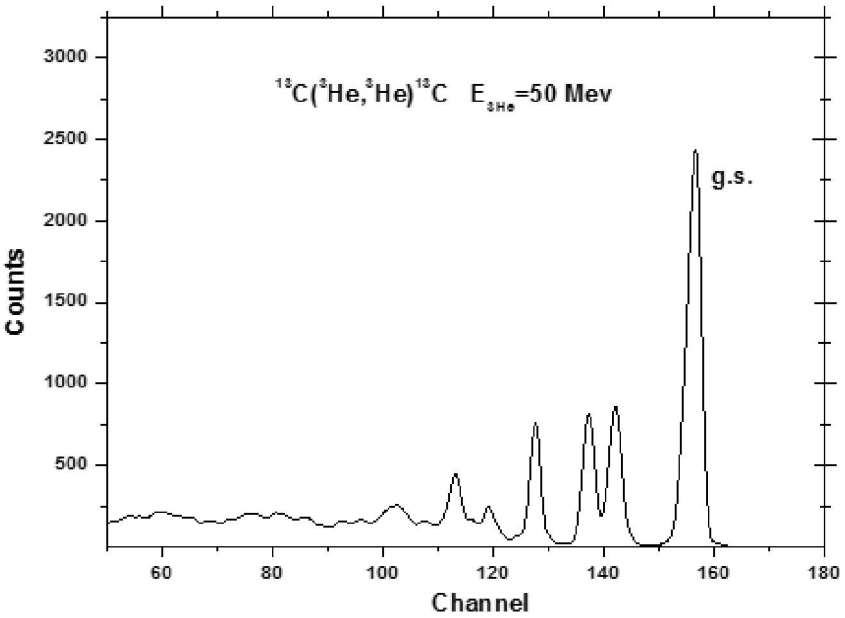

Рисунок 1 – Типичный спектр рассеянных ионов гелия на ядрах углерода при E = 50,5 МэВ (42^0)

Анализ экспериментальных данных по оптической модели ядра. Анализ экспериментальных данных проводился в несколько этапов. На первом этапе данные по упругому рассеянию анализировались в рамках стандартной оптической модели ядра, в которой влияние неупругих каналов учитывается феноменологическим введением мнимой поглощающей части в потенциал взаимодействия между сталкивающимися ядрами. Расчеты проводились с центральным потенциалом без спин-орбитального взаимодействия:

$$U(r) = -Vf(r) - i4a_w W_d \frac{df_w(r)}{dr} + V_{so}(\frac{h}{m_\pi c})^2 \frac{1}{r}\frac{d}{dr} f_{so}(r)(L\sigma) + V_C(r) \quad (1)$$

Первые два члена отвечают за ядерное взаимодействие с поверхностным поглощением. Радиальная зависимость $f_i(\mathrm{r})$ описывается Вудс-Саксоновским [4] формфактором с радиусом r_i и диффузностью $a_i(\mathrm{i} = \mathrm{V}, \mathrm{W})$:

$$f_i = \left[1 + \exp((r - r_i A^{1/3}) / a_i)\right]^{-1} \quad (2)$$

V_C – кулоновский потенциал равномерно заряженной сферы с радиусом R_C. При $r \succ R_C$, кулоновское взаимодействие между двумя ядрами равно

$$V_C = Z_p Z_t e^2 / r \quad (3)$$

где Z_p, Z_t – заряды налетающей частицы (p) и мишени (t). Во всех наших расчетах использовалось: $R_C = r_C A_t^{1/3}$ с $r_C = 1.3 фм$.

Учитывая компактные размеры налетающей частицы, мы ограничились поверхностным типом потенциала поглощения для мнимой части. Параметры оптических потенциалов (ОП) подбирались таким образом, чтобы достичь наилучшего согласия между теоретическими и экспериментальными угловыми распределениями.

Расчеты выполнены по программе FRESCO [5]. Значения оптического потенциала представлены в таблице 1. Также рассчитаны объёмные интегралы для действительной части (J_V) и мнимой части (J_D) оптического потенциала при заданных энергиях.

Таблица 1 - Параметры оптического потенциала

	E_b (МэВ)	V_0 (МэВ)	r_0 (фм)	a_0 (фм)	W_d (МэВ)	r_W (фм)	a_0 (фм)	J_V (МэВфм^3)	J_D (МэВфм^3)
^{3}He+^{13}C	50.5	111,04	1,150	0,737	13,30	1,378	0,80	423,1	150,3
	60.0	108,48	1,150	0,726	15,32	1,186	0,80	410,633	108,4

Фолдинг модель. Для ограничения дискретной неоднозначности оптического потенциала дополнительно был проведен анализ данных в рамках фолдинг модели. Потенциал двойной свертки (фолдинг потенциал) рассчитывается с учетом распределения ядерной материи как налетающего ядра, так и ядра мишени с использованием эффективного потенциала нуклон-нуклонного ($\nu_{N\,N}$) взаимодействия. Таким образом, фолдинг потенциал представляется в виде:

$$V_{DF}(\boldsymbol{r}) = \int d\boldsymbol{r}_1 \int d\boldsymbol{r}_2 \rho_p\,(\boldsymbol{r}_1)\rho_t(\boldsymbol{r}_2)\nu_{N\,N}(\boldsymbol{r}_{12}) \quad (4)$$

где $\rho_p(\boldsymbol{r}_1)$ и $\rho_t(\boldsymbol{r}_2)$ – плотности ядерной материи налетающего ядра и ядра мишени, соответственно.

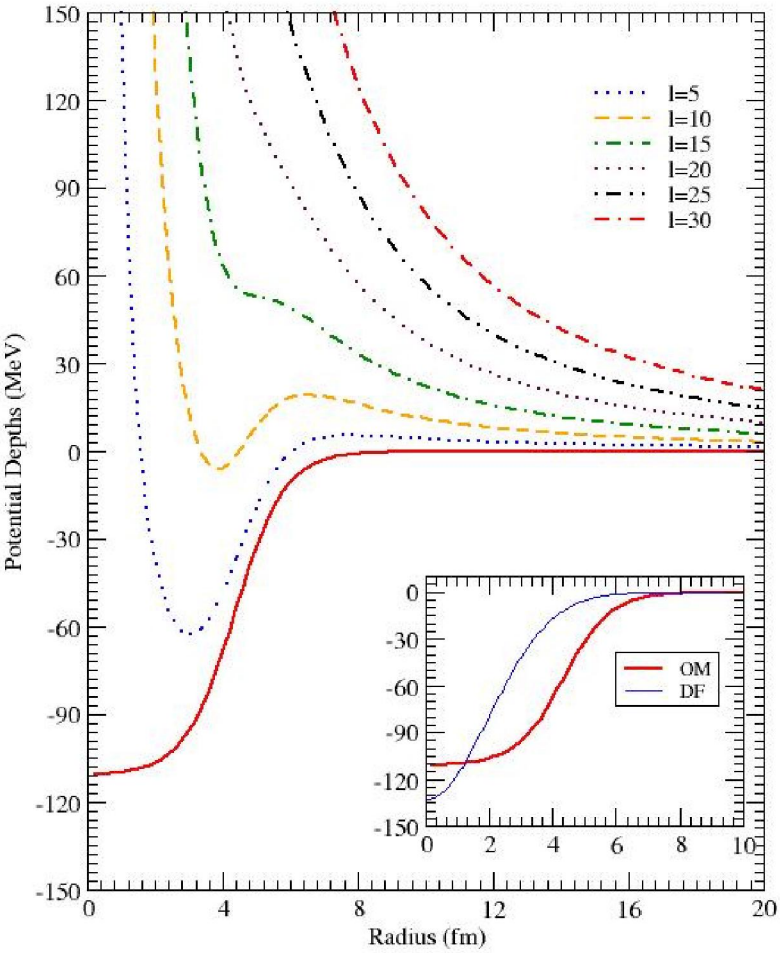

Рисунок 2 – Потенциал взаимодействия ионов ^{3}He с ядрами ^{13}C для различных значений орбитального момента квантового числа l

Гауссово распределение плотности для обоих ядер определяется как

$$\rho(r) = \rho_0 \exp\,(-\beta r^2) \quad (5)$$

где β корректируется таким образом, чтобы воспроизвести экспериментальное значение для среднеквадратичного радиуса ядер ^{13}C=2.44 фм и ^{3}He=1.91 фм [6]. Значения ρ_0 могут быть получены из условия нормировки:

$$\int \rho(r) r^2 dr = \frac{A}{4\pi} \quad (6)$$

где A массовое число. В расчетах эффективное нуклон-нуклонное ($\nu_{N\,N}$) взаимодействие бралось в форме M3Y-взаимодействия, заданным как

$$\nu_{NN}(r) = 7999\frac{\exp\,(-4r)}{4r} - 2134\frac{\exp(-2.5r)}{2.5r} + J_{00}(E)\delta(r) MeV \quad (7)$$

где

$$J_{00}(E) = 276[1 - 0.005E_{Lab}/A_p] MeV fm^3$$