

72.5MeV $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ 单质子转移反应的 EFR-DWBA 分析

徐树威 吴国华 韩 飞 王爱莲 赵炳林
(中国科学院近代物理所) (吉林大学)

摘 要

采用 W-S 势的平方作为光学势的实部,使理论计算的弹性散射和单质子转移反应的微分截面与实验拟合的程度有所改善。

有关 $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ 的散射和转移反应的实验数据已经发表得很多了,但至今尚未得到满意的理论解释^[1]。本文用 W-S 势的平方代替通常的 W-S 势作为光学势的实部,对本所发表的实验数据^[2]进行了拟合。无论是对弹性散射角分布,还是单质子转移反应,理论与实验拟合都有了改善。

一、对弹性散射角分布的光学模型分析

从原理上来说,核子在原子核上的散射用普通的 W-S 势描述是合适的,那么重离子之间的散射应当用折叠势描述。C. B. Fulmer 等人用折叠势来描述光学模型实部拟合 $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ 的弹散角分布有了改善^[1]。从数学上来说, W-S 势的平方是比较接近折叠的 W-S 势的,但简化了计算工作,因此,我们对平方势进行了尝试。

我们所用的光学势 $V(r)$ 是核势 $V_N(r)$ 与库仑势 $V_C(r)$ 之和,即:

$$V(r) = V_N(r) + V_C(r).$$

其中

$$V_C(r) = \begin{cases} \frac{Z_1 Z_T e^2}{2R_C} (3 - r^2/R_C^2), & r < R_C \\ \frac{Z_1 Z_T e^2}{r}, & r \geq R_C \end{cases}$$

这里库仑半径 R_C 为 $R_C = r_C(A_1^{1/3} + A_T^{1/3})$,

Z_1, Z_T, A_1, A_T 分别为弹核与靶核的电荷数和质量数。而核势

$$V_N(r) = -V \left[1 + \exp\left(\frac{r - R_0}{a_0}\right) \right]^{-n} - iW \left[1 + \exp\left(\frac{r - R_i}{a_i}\right) \right]^{-1}.$$

其中 $R_0 = r_0(A_1^{1/3} + A_T^{1/3})$, $R_i = r_i(A_1^{1/3} + A_T^{1/3})$ 。在光学势中总共包括八个可调参数

$V, W, r_0, r_i, r_c, a_0, a_i$ 和 n . 当 $n=1$, 即通常的 W-S 势, $n=2$ 时, 则为 W-S 势的平方. 另外, 我们用

$$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{\sigma_{th}(i) - \sigma_{ex}(i)}{\Delta\sigma_{ex}(i)} \right]^2$$

来衡量理论与实验角分布拟合程度, 其中 $\sigma_{th}(i), \sigma_{ex}(i)$ 分别表示理论和实验的截面值, $\Delta\sigma_{ex}(i)$ 为实验值的绝对误差, N 为总的测量点数. 我们根据 χ^2 是否为极小值来判断最佳拟合.

我们以前文^[2]最佳的普通 W-S 势为出发点, 在要求核势形状在表面部分相近的前提下, 挑选了几组参数初值, 使用自动调参的通用光学模型程序^[3]获得了三组较佳的 W-S 平方势的参数(表 1). 由表 1 可见, 平方势与普通的 W-S 势相比, χ^2 有了相当的下降. 另外从角分布的形状来看(图 1), 由平方势得到的理论曲线在大角度的拟合程度上与普通势相比有所改善.

值得注意的是: 如果我们把这四组参数对应的核势实部划在同一张图上(图 2), 可以看出, 它们大体上在 6.5fm 处通过一个公共点(但并不严格在此处相交).

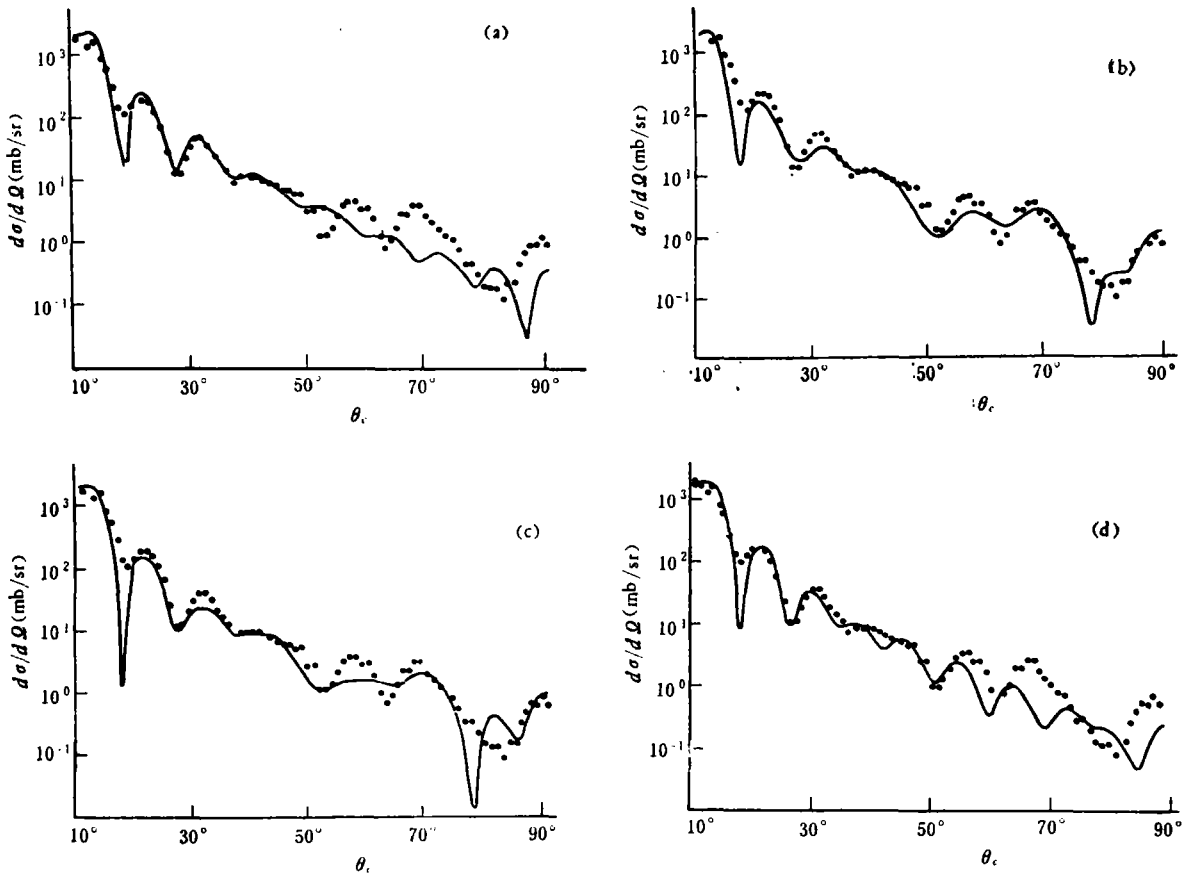


图 1 72.5MeV $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ 弹性散射分布

- 表示数据; 曲线为计算结果; (a), (b), (c), (d) 分别表示光学参数组 [1], [2], [3], [4] (见表 1)

表 1 拟合弹散所用的光学模型参数

编 号	n	$r_c(\text{fm})$	$U(\text{MeV})$	$r_0(\text{fm})$	$a_0(\text{fm})$
(1)	1	1.30	- 16.0	1.32	0.675
(2)	2	1.30	-436.2	0.429	2.241
(3)	2	1.30	-433.8	0.563	1.916
(4)	2	1.30	- 10.53	1.570	0.741
	$W(\text{MeV})$		$r_i(\text{fm})$	$a_i(\text{fm})$	χ^2
	-7.07		1.32	0.41	26.1
	-6.94		1.342	0.458	16.4
	-8.62		1.282	0.514	18.1
	-8.31		1.323	0.333	18.4

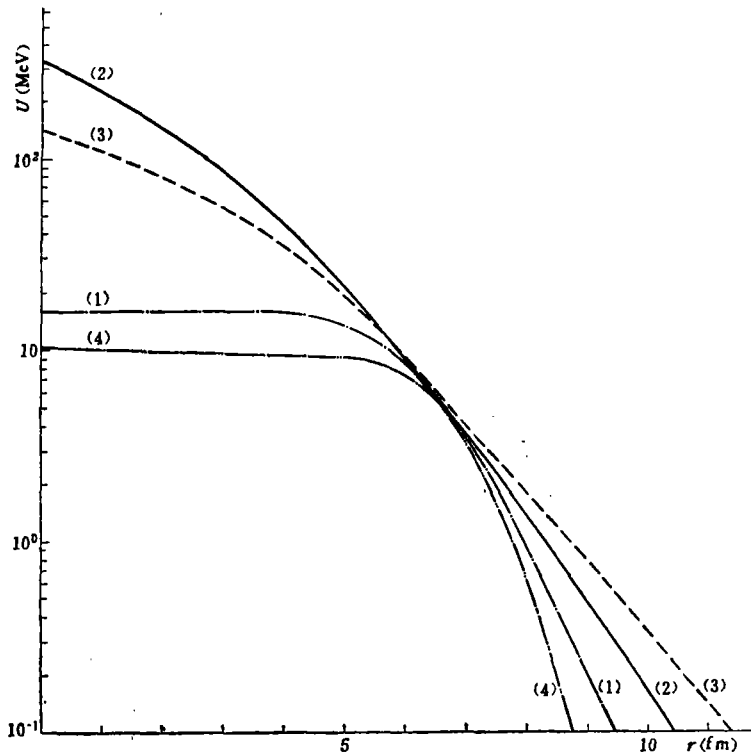


图 2 表 1 中四组光学势实部, 图中曲线的编号与表 1 中编号相同

二、对单质子转移反应 $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + ^{13}\text{N}$ 的实验微分截面进行 EFR-DWBA 分析

如前文^[2]所述, 测得的 ^{13}N 的能谱包含有 ^{11}B 基态 ($3/2^-$) 和 $2.124\text{MeV}(1/2^-)$ 的第一激发态的贡献。但由文献 [1] 可知, 第一激发态的贡献要比基态的贡献小一个量级。因

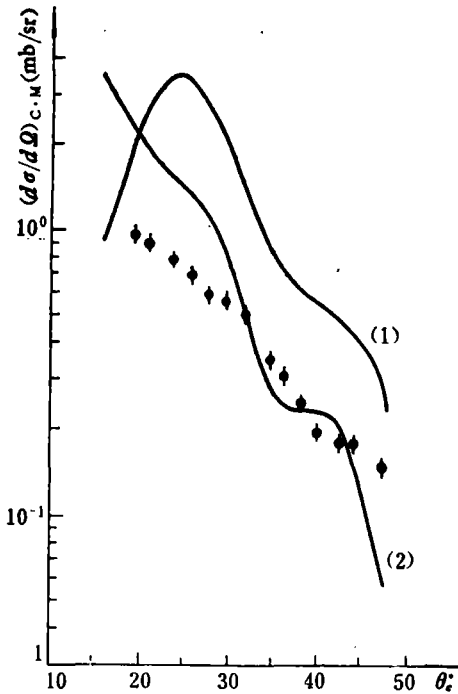


图3 72.5 MeV $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + ^{13}\text{N}$
出射粒子 ^{13}N 的微分截面

- 表示实验点; 曲线表示计算结果; (1) 系普通 W-S 势; (2) 系 W-S 平方势

此, 在理论分析时, 仅就基态分析还是近似可行的. 计算 $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ 单质子转移反应的微分截面, 反冲效应是不可以忽略的. 所以, 我们采取了精确有限程的、考虑到反冲效应的扭曲波玻恩近似程序. 这个程序主要是参照了 T. Tamura 等人^[4]的公式系统, 在徐邦清等人^[5]的初步程序框架上进一步编制成的.

为了比较平方势和通常 W-S 势的效果, 我们选用了一组平方势 (4) 和普通的 W-S 势 (1) 分别计算出单质子转移反应中出射粒子的微分截面. 选用势 (4) 的原因是它的形状与势 (1) 比较接近. 计算结果表示在图 3 中, 理论曲线乘上了一个理论光谱因子 1.74, 此外, 再无其他可调参数. 由图可见, 就微分截面的理论拟合而论, 平方势的效果, 无论从绝对大小, 或从曲线形状来看都优于通常的 W-S 势的计算结果.

本工作是在吉林大学物理系吴式枢教授指导下进行的, 作者谨致谢意.

参 考 文 献

- [1] C. B. Fulmer et al., *Phys. Rev.*, **C20**(1979), 670.
- [2] 诸永泰等, *原子核物理*, **1**(1979), 31.
- [3] 徐树威、吴国华, 中国科学院近代物理所内部资料; 王爱莲、赵炳林, 吉林大学物理系内部资料.
- [4] T. Tamura and K. S. Low, *Comp. Phys. Commun.*, **8**(1974), 349; T. Tamura, T. Udagawa, K. E. Wood and H. Amakawa, *ibid*, **18**(1979), 163.
- [5] 徐邦清、韩文述、庄斐, 私人通讯.

EFR-DWBA ANALYSIS OF SINGLE PROTON TRANSFER REACTION FOR $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ AT THE INCIDENT ENERGY 72.5 MeV

XU SHU-WEI WU GUO-HUA HAN FEI
(Institute of Modern Physics, Academia Sinica)

WANG AI-LIAN ZHAO BING-LIN
(Jilin University)

ABSTRACT

Using the square of W-S potential as the real part of optic potential instead of normal W-S potential, we improve the theoretical calculation for the differential cross sections of elastic scattering and single proton transfer reaction. It turns out that the improved theoretical result fit the data better than before.