

# 通过 $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ 散射对两种不同模型的一个比较\*

李清涓

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

杨永栩

(广西师范大学物理系 桂林 541001)

1993年9月28日收到

## 摘 要

对基于  $^{12}\text{C}$  的两种不同的结构模型建立起的描述  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  的散射模型进行了对比。比较表明,  $^{12}\text{C}$  的  $\alpha$  粒子结构模型能给出更好的结果。

**关键词** 重离子散射, 折叠模型, 核结构模型。

$^{12}\text{C}$  是一个具有特殊兴趣的原子核。按壳层模型观点,  $^{12}\text{C}$  原子核是由 12 个核子填充在 1S 壳和 1P 壳层所构成。另一方面, 从原子核集团结构观点,  $^{12}\text{C}$  是一个典型的  $\alpha$  粒子结构原子核, 它由 3 个  $\alpha$  粒子所构成, 这些  $\alpha$  粒子在核内基本上保持着自由  $\alpha$  粒子的特性。

两个  $^{12}\text{C}$  原子核间的相互作用在重离子物理中具有特别的兴趣。按照折叠模型, 两个重离子间的相互作用可以由两核内的“基本”粒子的密度分布折叠“基本”粒子间的相互作用来得到。对于  $^{12}\text{C}$  这一特殊原子核, 按壳层模型观点, 其“基本”粒子是核子, 而按  $\alpha$  粒子模型观点, “基本”粒子是  $\alpha$  粒子。

我们曾经从  $\alpha$  粒子模型出发建立起一个折叠模型<sup>[1]</sup>, 应用这个模型非常成功地描述了文献[2]中给出的一组  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  弹性散射的实验角分布。

在通常的理论研究中, 都是把  $^{12}\text{C}$  看成是由 12 个核子组成的壳层结构。因此, 在  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  散射的折叠模型研究中是以核子的密度去折叠某种核子-核子相互作用而构成折叠势。在这类研究中, 最新的是 Brandan 等人的工作<sup>[3]</sup>。他们使用一种目前最流行的有效核子-核子相互作用——DDM3Y 相互作用构成折叠势, 对  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  散射进行了计算。最近, 仔细阅读他们的文章<sup>[3]</sup>后发现, DDM3Y 折叠模型对于两个能量下的实验角分布给出不成功的描述。

本文的目的是, 应用我们在文献[1]中建立的  $\alpha$  折叠模型去计算上述两个能量下的角

\* 国家自然科学基金和中国科学院 LWTZ-1298 经费资助。

分布,去和 DDM3Y 模型的结果进行对比. 显然, 这种对比意味着是对  $\alpha$  折叠模型的一次考验. 本文是对文献[1]的一个增补.

下面简单地介绍一下 Brandan 等人的 DDM3Y 折叠模型和本文所使用的  $\alpha$  折叠模型的要点.

### DDM3Y 折叠模型

描述两个  $^{12}\text{C}$  原子核散射的光学势为

$$U(r) = NV_i(r) - iW_0[1 + \exp\{(r - R_W)/a_W\}]^{-1}, \quad (1)$$

其中  $V_i$  是折叠势, 由下式表示

$$V_i(r) = \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \rho_N(\vec{r}_1) \rho_N(\vec{r}_2) v_{NN}(\vec{r} + \vec{r}_1 - \vec{r}_2), \quad (2)$$

其中  $\rho_N$  是核子在  $^{12}\text{C}$  中的密度, 由壳模型波函数求得.  $v_{NN}$  代表入射核中的一个核子和靶核中的一个核子间的相互作用, Brandan 等人采用的是 DDM3Y 有效核子-核子相互作用<sup>[4]</sup>, 是一个能量有关和密度有关的相互作用. 在他们的计算中, (1)式中的  $N, W_0, R_W$  和  $a_W$  是作为四个可调参数由拟合实验数据, 使用最小二乘法程序得到, 是一个 4 自由参数模型.

### $\alpha$ 折叠模型

作用在两个  $^{12}\text{C}$  原子核间的光学势为

$$U(r) = NV_\alpha(r) - iW_0[1 + \exp\{(r - R_W)/a_W\}]^{-1}, \quad (3)$$

其中,  $V_\alpha$  是  $\alpha$  模型折叠势, 其表示为

$$V_\alpha(r) = \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \rho_\alpha(\vec{r}_1) \rho_\alpha(\vec{r}_2) v_{\alpha\alpha}(\vec{r} + \vec{r}_1 - \vec{r}_2), \quad (4)$$

这里,  $\rho_\alpha$  是  $\alpha$  粒子在  $^{12}\text{C}$  核内的密度分布,  $v_{\alpha\alpha}$  代表入射核内的一个  $\alpha$  粒子与靶核内的一个  $\alpha$  粒子间的相互作用, 我们采用 Buck 等人给出的位势<sup>[5]</sup>, 它能给出质心能量在 0—40MeV 间的  $\alpha$ - $\alpha$  散射相移. 密度  $\rho_\alpha$  由独立  $\alpha$  粒子模型给出<sup>[6]</sup>. 在我们的  $\alpha$  折叠模型中, 参数  $R_W$  和  $a_W$  取为确定值不再变化, 而只允许参数  $N$  和  $W_0$  可调, 因此是一个 2 自由参数模型<sup>[1]</sup>.

Brandan 等人应用 DDM3Y 模型分析了文献[7]中给出的 14 个能量下的  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  散射角分布测量数据. 大部分能量下的角分布能够得到较好的描述, 但是在 105MeV 和 94MeV 两种情况下, DDM3Y 模型给出不成功的结果.

(1) 105MeV  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  弹性散射角分布. DDM3Y 模型在这个能量下给出的结果被 Brandan 等人认为是“不可接受的”<sup>[3]</sup>. 可能是因为与实验偏离太大, 他们在文章中没有给出 DDM3Y 模型的结果, 而只是指出其结果是不可接受的.

我们应用  $\alpha$  折叠模型计算出这个能量下的角分布结果给出在图 1 中, 如实线所示. 可以看到, 这个结果不但可以接受, 而且是非常好的. 它对应的两个参数值为  $N = 0.97$  和  $W_0 = 14.5\text{MeV}$ , 这些值完全符合在这个能区内的系统规律性<sup>[1]</sup>.

(2) 94MeV  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  弹性散射角分布. DDM3Y 模型在这个能量下的结果被认为是可以接受的, 因此文献[3]中给出了角分布曲线, 我们把它绘在图 2 中, 如虚线所示. 从图中可以看出, 理论结果在  $90^\circ$  角附近区域与实验发生很大偏离——位相相反.

$\alpha$  折叠模型的结果给在同一图中, 如实线所示。可以看到, 这个模型在  $90^\circ$  角附近给出了正确的位相, 对应的参数值为  $N = 0.97$  和  $W_0 = 13.5\text{MeV}$ , 完全符合系统规律性<sup>[1]</sup>。

DDM3Y 模型和  $\alpha$  模型, 其虚部势都是使用 Woods-Saxon 形式, 前一模型允许  $W_0$ ,  $R_W, a_W$  变化, 后一模型只允许  $W_0$  可调。显然,  $\alpha$  模型的虚部势可变范围被完全包括在 DDM3Y 模型之内, 因此单就调节虚部势而言,  $\alpha$  模型所能达到的“最佳”拟合, 不可能超过 DDM3Y 模型所能达到的最佳拟合。但是, 如上所述,  $\alpha$  模型给出了比 DDM3Y 模型更好的结果, 显然, 其原因完全来自于实部势, 即来自于两个模型的折叠势的不同。因此可以说, 通过本文的比较表明,  $\alpha$  模型折叠势比 DDM3Y 折叠势更接近真实的位势。

这里, 我们想强调指出 DDM3Y 模型和  $\alpha$  模型间的一个非常重要的差别, 那就是: 前一个模型使用的是有效的基本相互作用, 而后者使用的是自由的基本相互作用。前人的研究曾经表明<sup>[6]</sup>, 如果在折叠势中使用符合核子-核子散射实验的相互作用, 即自由的核子-核子势来构成折叠势, 则给出过强(高出一倍或更大)的实部位势。因此必须使用一个有效的核子-核子相互作用以减弱折叠势。这可以解释为一对在核介质内部的核子间的相互作用不同于一对自由核子。与此对照, 在  $\alpha$  折叠势中我们使用的是自由  $\alpha$ - $\alpha$  相互作用, 它是由拟合两个  $\alpha$  粒子的散射相移得到的<sup>[9]</sup>。使用自由的  $\alpha$ - $\alpha$  相互作用得到的折叠势能很好地描述  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  散射过程, 这一事实意味着,  $^{12}\text{C}$  内的  $\alpha$  粒子其特性和行为基本上类似一个自由的  $\alpha$  粒子。这一点正是与下面的事实一致:  $\alpha$  粒子在  $^{12}\text{C}$  内的结合能远小于核子的结合能。这是  $\alpha$  折叠模型在物理上的一个成功。

结论: 通过本文进行的对比显示出,  $^{12}\text{C}$  的  $\alpha$  粒子模型继在  $\pi$  介子散射<sup>[9,10]</sup>和质子散射<sup>[11,12]</sup>之后, 现在又在重离子散射中再一次给出比壳层模型更好的结果。这无疑是对  $^{12}\text{C}$  原子核的  $\alpha$  粒子结构观点又一次提供一个有力的支持。

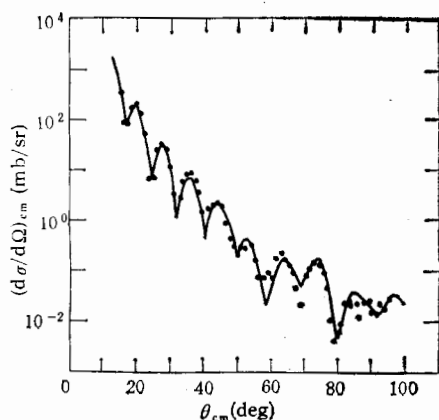


图 1 105MeV  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  弹性散射角分布  
实曲线代表  $\alpha$  折叠模型结果; 实验点取自文献[7]。

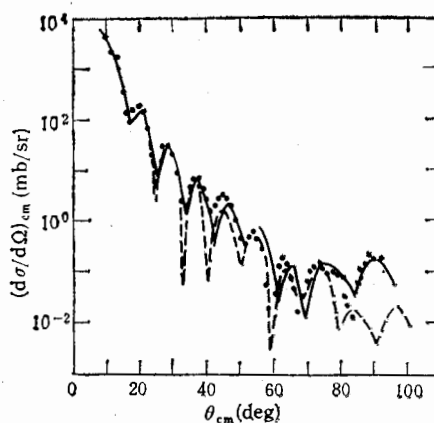


图 2 94MeV  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  弹性散射角分布  
实线代表  $\alpha$  折叠模型结果; 虚线为 DDM3Y  
折叠模型结果; 实验点取自文献[7]。

## 参 考 文 献

- [1] Li Qingrun and Yang Yongxu, *Phys. Rev.*, **C47**(1993)2393.  
[2] R. M. Wieland et al., *Phys. Rev. Lett.*, **37**(1976) 1458.  
[3] M. E. Brandan, M. Rodriguez-Villafuerte and A. Ayala, *Phys. Rev.*, **C41**(1990) 1520.  
[4] M. El-Azab Farid and G. R. Satchler, *Nucl. Phys.*, **A438**(1985) 525.  
[5] B. Buck, H. Friedrich and C. Wheathly, *Nucl. Phys.*, **A275**(1977) 246.  
[6] 李清润、陈生志、赵恩广, 高能物理与核物理, **5**(1981)531.  
[7] R. G. Stokstad et al., *Phys. Rev.*, **C20**(1979) 655.  
[8] G. R. Satchler, *Phys. Lett.*, **59B**(1975) 121.  
[9] Li Qingrun, *Nucl. Phys.*, **A415**(1984) 445.  
[10] Li Qingrun and Chen Shengzhong, *Phys. Rev.*, **C41**(1990) 2449.  
[11] Li Qingrun and Zhou Jinli, *J. Phys.*, **G17**(1991) 663  
[12] 周金礼、李清润, 高能物理与核物理, **16**(1992)822.

A Comparison of Two Different Models for  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  Scattering

Li Qingrun

*(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)*

Yang Yongxu

*(Department of Physics, Guangxi Normal University, Guilin 541001)*

Received on September 28, 1993

## Abstract

A comparison of two different nuclear structure models for  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  scattering is made. The comparison shows that the  $\alpha$ -particle model of  $^{12}\text{C}$  gives the better results.

**Key words** Heavy ion scattering, folding model, structure model.