

$^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ 熔合截面粗共振现象的研究*

高 成 群

(南开大学物理系 天津 300071)

1996-03-13 收稿

摘 要

应用核分子轨道理论(LCNO)和宇称相关势的折叠模型,研究了 $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ 全熔合截面中所呈现的粗共振结构,该系统的全熔合截面和弹性散射激发函数及角分布的实验数据都得到了较好地解释.

关键词 熔合截面, 粗共振结构, 共振转动带, LCNO 模型.

1 引 言

4N核系统近垒熔合截面的粗共振现象早已引起人们极大的兴趣,它是研究重核高自旋激发态的重要探针.近年来一批4N核系统熔合截面新的实验结果的出现^[1-3],为进一步开展对这类共振现象的深入研究提供了丰富的实验资料,特别是对 $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ 这一典型的4N核系统的最新实验^[1],在较高的能区又发现了新的有规律的粗共振结构

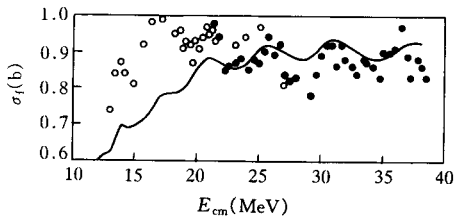


图1 $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ 熔合截面
—理论计算结果;

• 实验数据, 分别取自文献 [1] 和 [11]

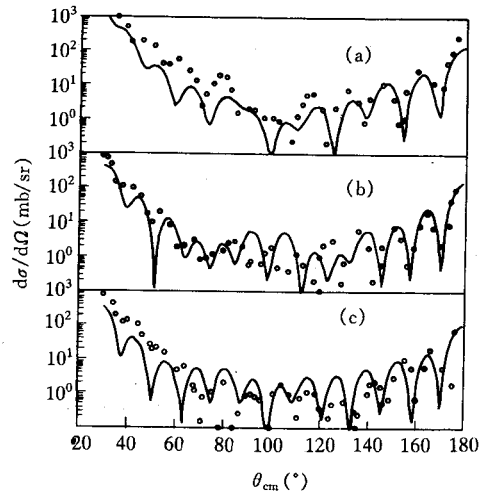


图2 弹性散射角分布

—理论计算结果;

• 实验数据, 取自文献 [12].

(a) $E_{cm}=17.28\text{MeV}$, (b) $E_{cm}=20.79\text{MeV}$,

(c) $E_{cm}=22.82\text{MeV}$.

*国家自然科学基金资助.

(见图 1), 使这一典型的 $4N$ 核系统再次得到人们相当大的关注.

研究结果表明^[4, 5], $4N$ 核系统近垒熔合截面的粗共振结构提供了系统在此能区存在着一条准分子转动带的实验证据, 图 1 所示的共振结构就是属于主量子数 $N=24$ 的准分子 ^{28}Si 的一条转动带^[6, 7]. 熔合截面的粗共振结构与弹性散射激发函数的粗共振结构及角分布的后角振荡升起有着密切的联系, 对于质量相近的 $4N$ 核系统, 如 $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ 系统, 其相互作用中的宇称相关势对这类粗共振结构的形成起着重要的作用^[8-10]. 文献 [8] 在核分子轨道理论 (LCNO) 的框架下, 使用折叠方法对 $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ 系统推导出了一个半微观的宇称相关势, 较好地解释了核系统角分布中呈现的后角振荡升起的现象. 本文在文献 [8] 的基础上对 $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ 系统的熔合截面和弹性散射激发函数的粗共振结构进行了深入地讨论.

2 公式简述和势参数的确定

按照文献 [8] 和 LCNO 理论^[8, 13], $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ 系统的相对运动径向波函数 $u_L(r)$ 应满足如下退耦合方程:

$$\left\{ \frac{\hbar^2}{2\mu} \left[\frac{d^2}{dr^2} \frac{L(L+1)}{r^2} + k^2 \right] - [U(r) + (-1)^L J(r)] \right\} u_L(r) = 0, \quad (1)$$

其中 $(-1)^L J(r)$ 是宇称相关势, 取值与文献 [8] 完全相同.

二核间的相互作用光学势 $U(r)$ 取为 Woods-Saxon 平方型^[8], 其虚部强度是与能量和角动量相关的. 在计算中, 对虚部强度角动量相关部分的 3 个参数 \bar{R} , \bar{Q} 和 Δ 做了适当调整, 以使计算结果在拟合弹性散射角分布实验数据的同时, 还能较好地拟合激发函数和熔合激发函数的实验数据, 而光学势的其它参数的数值与文献 [8] 完全一致 (见表 1).

在全熔合截面的计算中, 采用了 T. Udagawa 和 T. Tamura 提出的熔合截面单参数

表1 $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ 光学势参数

V_0 (MeV)	R_R (fm)	a_R (fm)	W_0 (MeV)	W_E	R_f (fm)	a_f (fm)	\bar{R} (fm)	\bar{Q} (MeV)	Δ	R_{coul} (fm)
-408.7	3.43	1.5	-5.0	-1.0	3.43	1.5	6.0	5.0	1.0	3.43

理论^[14], 重离子碰撞的全熔合截面 σ_f 由下式给出

$$\sigma_f = \frac{\pi}{k^2} \sum_{L=0}^{\infty} (2L+1) T_{fL} \quad (2)$$

和

$$T_{fL} = \frac{4}{\hbar v} \int_0^{R_f} |u_L(r)|^2 W_f(r) dr, \quad (3)$$

其中 $W_f(r)$ 在 $r \leq R_f$ 处等于二核相互作用势的虚部, 在 $r > R_f$ 处为零. R_f 称为熔合半径, 在单参数理论中作为可调参数.

3 结果和讨论

基于上述考虑, 在核分子轨道理论框架下, 采用表1给出的光学势参数计算了

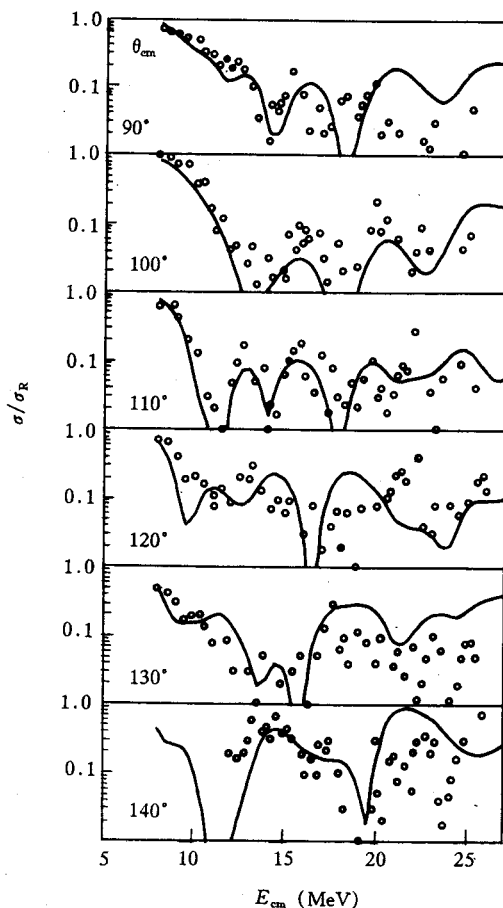


图3 弹性散射激发函数

—理论计算结果;

○实验数据, 取自文献[15]

$^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ 弹性散射角分布和激发函数, 由图2可以看出, 尽管虚部强度的角动量相关部分的3个参数 \bar{R} 、 \bar{Q} 和 Δ 在文献[8]的基础上做了一些调整, 但计算的弹性散射角分布与实验数据的符合程度与文献[8]的一样好. 图3给出了理论激发函数曲线与实验数据的比较, 理论曲线较好地展现了激发函数实验数据所显示的粗共振特征. 将上述计算所得到的径向波函数代入(2)式和(3)式, 即可得到全熔合截面, 其熔合半径被确定为 $R_f = 5.5\text{fm}$. 理论曲线(实线)和实验数据的比较如图1所示, 由图1可见, 理论曲线较好地再现了 $E_{\text{cm}} \geq 19\text{MeV}$ 能区的4个粗共振峰, 而在 $E_{\text{cm}} <$

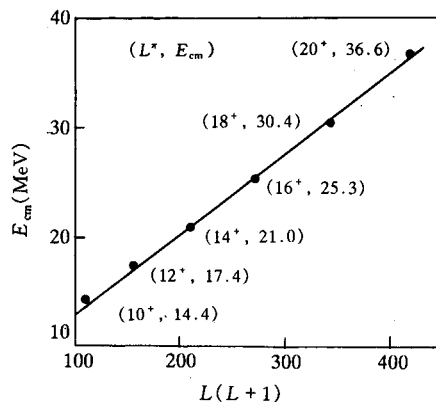


图4 共振转动带

19MeV 能区仅给出两个共振峰的趋势, 且理论曲线的截面值偏低. 这表明在此能区似应有较大的熔合半径, 实际上这也表明了熔合截面单参数理论的限制性, 因为它忽略了道耦合的作用. 正如文献[12]所指出的那样, 如果采用耦合道和耦合反应道方法计算, 将能得到更好的拟合结果.

上述计算结果表明, 图2所示的3个能量的角分布对 \bar{R} 、 \bar{Q} 和 Δ 参数不甚敏感, 然而这3个势参数对激发函数和熔合激发函数的影响却较大. 如果使用文献[8]中的数值, 理论计算得到的弹性散射激发函数和熔合激发函数两者的粗共振峰与实验数据相比前者偏高而后者偏低.

由本文的研究可以看出, 熔合和弹性散射激发函数呈现的粗共振结构决定于碰撞核间的光学势和宇称相互作用, 具体地说, 实势(光学势的实部加宇称相关作用)决定着粗共振结构的形成和粗共振峰的位置, 而虚势对共振峰的高低有较大影响. 这一点也体现在确定光学势实部参数时, 要保证 $L^\pi = 14^+$ 和 16^+ 的分波在入射能量 $E_{\text{cm}} = 21.0$ 、 25.3MeV 时发生共振, 即在只有实势的情况下调整光学势实部参数使得 $L^\pi = 14^+$ 和 16^+ 分波产生共振, 同时保证其相应的径向波函数分别具有 5 和 4 个节点以满足泡利原理的要求^[8]. 由此确定的光学势实部给出的共振能量随共振分波角动量 $L(L+1)$ 的变化关系示于图 4 中, 图中展示的线性关系恰好表明了熔合激发函数呈现的粗共振结构是属于 $N = 24$ 的一条准分子共振转动带.

参 考 文 献

- [1] 王素芳等, 高能物理与核物理, **16** (1992) 453.
- [2] 刘国兴等, 高能物理与核物理, **16** (1992) 446.
- [3] 郑纪文等, 高能物理与核物理, **16** (1992) 640.
- [4] Y. Kondo, D. A. Bromley, Y. Abe, *Phys. Rev.*, **C22** (1980) 1068.
- [5] 高成群、杨宝胜、周全华, 高能物理与核物理, **17** (1993) 665.
- [6] J. J. Kolata *et al.*, *Phys. Lett.*, **65B** (1976) 333.
- [7] J. J. Kolata *et al.*, *Phys. Rev.*, **C16** (1977) 891.
- [8] 周全华、杨宝胜、高成群、高能物理与核物理, **18** (1994) 1051.
- [9] D. Baye, J. Deenen, Y. Salmon, *Nucl. Phys.*, **A289** (1977) 511.
- [10] D. Baye, *Nucl. Phys.*, **A460** (1986) 581.
- [11] P. Sperr *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **36** (1976) 405.
- [12] P. Charles *et al.*, *Phys. Lett.*, **B62** (1976) 289.
- [13] W. von Oertzen, H. G. Bohlen, *Phys. Rep.*, **19** (1975) 1.
- [14] T. Udagawa, B. T. Kim, T. Tamura, *Phys. Rev.*, **C32** (1985) 124.
- [15] R. E. Malmin *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **28** (1972) 1590.

On the Gross Structure of Fusion Cross Section for $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ System

Gao Chengqun

(Physics Department, Nankai University, Tianjin 300071)

Received 13 March 1996

Abstract

The gross structure appeared in the total fusion cross section for $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ system is studied by using the LCNO theory and the folding model of the paritydependent potential. The experimental data of the fusion cross section, elastic scattering excitation functions and angular distributions for this system are well explained.

Key words fusion cross section, gross structure, resonant rotational band, LCNO model.