

中能质子在 ^{12}C 及 ^{16}O 核上的 ($p, p\alpha$) 准自由散射

陈学俊 殷定
(清华大学)

刘宪辉
(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文从原子核的 α 集团独立粒子模型出发, 在平面波冲量近似下讨论了质子在 ^{12}C , ^{16}O 等轻核上引起的 ($p, p\alpha$) 准自由散射. α 集团的独立粒子波函数表示成谐振子波函数的叠加, 其中的参数用拟合高能电子散射实验测定的核电荷密度分布的数据来确定. 结果表明, 用这样确定的波函数能给出比较符合实验结果的准自由散射的理论截面.

近年来原子核(特别是轻核)的集团模型已经受到人们的普遍重视^[1], 它能比较好地解释轻核的结构、散射和反应问题, 也能解释重离子核反应中的多粒子转移(即集团转移)、分子态等问题. 准自由散射, 例如 ($p, p\alpha$), (p, p^t), (p, pd), $\dots\dots$ 是研究原子核集团性质的重要而又比较直接的手段^[2]. 准自由散射过程如图 1 所示. 靶核 A 由集团 b

和集团 B 组成, 通过三体运动学的计算可知, 在适当条件下(即准自由条件), 入射粒子 a 主要与集团 b 碰撞, 发生较大的能量和动量交换, 以致把 b 敲出核外, 而另一集团 B 的反冲很小, 基本上是“旁观者”, 不参与反应. 因此, 这类反应是在 a 与 b 之间准自由地进行. 通过实验和理论的研究和比较, 可以得到核的集团结构知识.

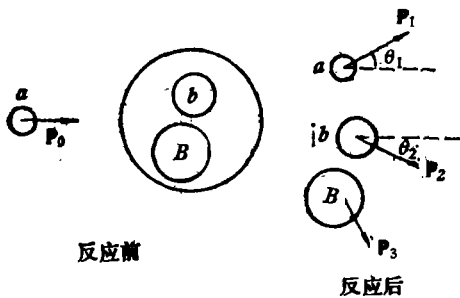


图 1 集团敲出反应的终态与始态

本文只限于讨论中能质子在 ^{12}C , ^{16}O 核上引起的 ($p, p\alpha$) 准自由散射. 对这一问题

已有一些人作过研究^[3], 在大多数理论计算中, α 集团波函数按下述方式处理: 假设 α 粒子在剩余核 B 提供的平均场中运动, 平均场取 Woods-Saxon 势形式, 平均半径和扩散参数大体上与核子相同, 但位阱深度由相应的 α 粒子分离能决定; 求介波函数时, 其节点数按谐振子规则来确定. 只要适当选择有关参数, 采用这样的波函数大体上能得到与实验一致的结果^[3]. 但研究表明, 准自由散射的理论截面对核内集团之间相对运动波函数的性质是很敏感的, 也与集团的内部波函数有关, 而波函数又与所选参数紧密相关. 本文按另

本文 1981 年 12 月 3 日收到.

一种方式选取 α 集团波函数, 要点是: 将 α 集团看成是内部态不改变的玻色子, 它在核的平均场中运动, 其单粒子波函数表述成谐振子波函数的线性叠加, 其中的系数及谐振子参数拟合由高能电子散射测定的核电荷密度分布的数据来确定. 我们认为这样确定的波函数可能更真实一些, 因为和能谱相比, 核波函数对跃迁、电荷分布等更敏感一些.

在冲量近似和零力程近似下, 准自由散射截面的理论公式为^[4]

$$\frac{d^3\sigma}{dE_1 d\Omega_1 d\Omega_2} = K \cdot \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{ab} |G_{if}|^2 \quad (1)$$

其中, K 是运动学因子, 具体形式见 [4]; $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{ab}$ 是粒子 a 和 b 之间的自由散射截面, 通常由 a 、 b 两粒子终态能量和角度(质心系中)所对应的实验数据给定:

$$G_{if} = \langle \Psi_f | \delta(\mathbf{R}_0 - \mathbf{R}_2) | \Psi_i \rangle \quad (2)$$

Ψ_i , Ψ_f 分别是反应前、后总系统的波函数. 作为研究的第一步, 我们对入射和出射粒子波函数取平面波近似. 核内 α 粒子的相对运动基态波函数取为^[5]

$$\phi_\alpha(\mathbf{r}) = \frac{1}{\sqrt{2}} \phi_{10}(\mathbf{r}) - \frac{1}{\sqrt{2}} \phi_{20}(\mathbf{r}) \quad (3)$$

$\phi_{10}(\mathbf{r})$ 和 $\phi_{20}(\mathbf{r})$ 分别是 $1S$ 和 $2S$ 谐振子波函数. 谐振子参数根据高能电子散射实验确定. 分析表明, 这样确定的波函数也能体现 α 集团主要出现在核表面的特点. 具体计算结果如图 2 和图 3 所示, 图 2 是入射质子能量为 101.5MeV 时的 $^{16}\text{O}(p, p\alpha)^{12}\text{C}$ 的准自由散射截面, 图 3 是入射质子能量为 100MeV 时的 $^{12}\text{C}(p, p\alpha)^8\text{Be}$ 的准自由散射截面. 理

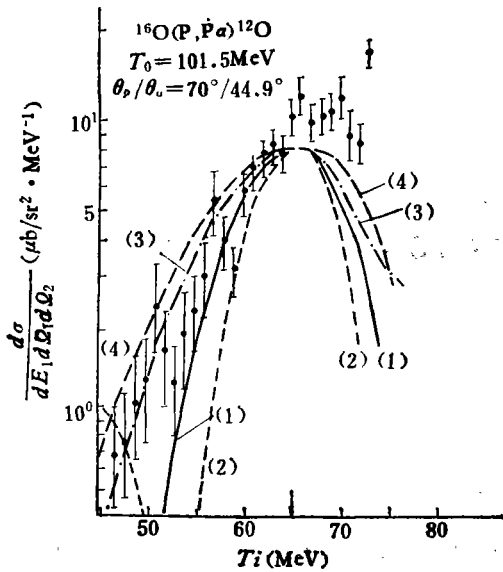


图 2 $^{16}\text{O}(p, p\alpha)^{12}\text{C}$ 的实验和理论结果
 (1) α 独立粒子相对运动波函数计算结果 ($a = 2.0$) (2) Sakamoto 型相对运动波函数计算结果 (3) T. A. Carey 等的 DWIA 计算结果^[3] (4) α 独立粒子相对运动波函数计算结果 ($a = 1.6$)

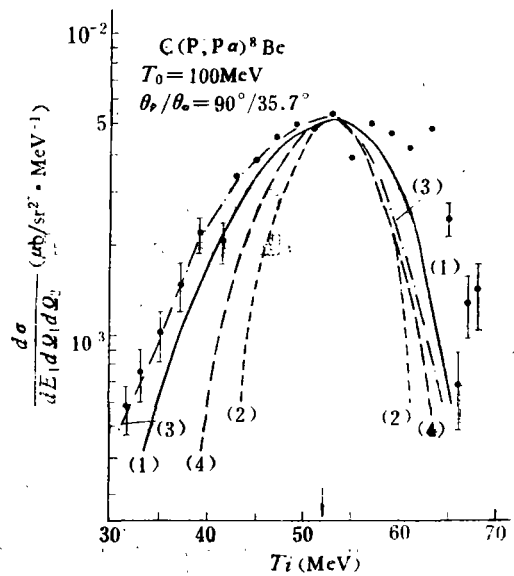


图 3 $^{12}\text{C}(p, p\alpha)^8\text{Be}$ 的实验和理论结果
 (1) α 独立粒子型相对波函数计算结果 ($a = 1.5$) (2) Sakamoto 型相对波函数计算结果 (3) DWIA 计算结果^[3] (4) PWIA 计算结果^[6]

论截面已归一到剩余核无反冲时的实验点。为了和其他作者的结果相比较,我们也采用 Sakamoto 型^[6]的集团相对运动波函数作了计算,结果如图 2 中虚线所示;此外,我们也在图 3 中给出了 N. S. Chant 等由 Woods-Saxon 势求介 α 粒子波函数并用 PWIA 和 DWIA 得到的结果^[7]。从图 2 和图 3 可以看出:

(1) 我们的结果与实验结果的符合程度是令人满意的。这里需要指出的是在我们的计算中没有可调参数。另外,我们在计算中发现,理论截面对谐振子参数 a 的取值是敏感的,也就是对集团之间的相对运动波函数特征是敏感的,这一点与其他作者的结论一致。

(2) 与 ${}^6\text{Li}$ 情况不同,用 Sakamoto 型波函数计算结果不符合实验,表明它已不能正确反映象 ${}^{16}\text{O}$ 、 ${}^{12}\text{C}$ 这样的核内 α 集团的真实运动情况,用了波函数 (3),即使我们采用 PWIA 近似计算,结果比 N. S. Chant 等人的 PWIA 计算更好一些,并接近他们的 DWIA 计算结果,这说明借助高能电子散射实验数据拟定的波函数可能更真实一些。

(3) 从图 2 看出,在高动量区,理论与实验符合得不太好。这是由于象 $p + A \rightarrow p + A'$ 那样的次级过程造成的,所以实验点偏高。

最后,还需要指出,我们在计算中尚未考虑扭曲效应,也还没有比较其他轻核的 ($p, p\alpha$) 的实验结果。这些正在作进一步研究。

参 考 文 献

- [1] A. Arima, *Clustering Aspects of Nuclear Structure and Nuclear Reactions* (Winnipeg, 1978), p. 1.
- [2] N. S. Chant, *Clustering Aspects of Nuclear Structure and Nuclear Reactions* (Winnipeg, 1978), p. 435.
- [3] T. A. Carey et al., *Phys. Rev.*, **23C**(1981), 576.
- [4] 金星南等, *原子核物理*, **3**(1981), 108; D. F. Jackson et al., *Proc. Phys. Soc.*, **85**(1965), 659.
- [5] 李清润, *高能物理与核物理*, **5**(1981), 531.
- [6] Y. Sakamoto et al., *Phys. Rev.*, **C11**(1975), 668.

QUASI-FREE ($p, p\alpha$) REACTION INDUCED BY THE INTERMEDIATE ENERGY PROTON ON ${}^{12}\text{C}$ AND ${}^{16}\text{O}$

CHEN XUE-JUN YIN DING

(*Qinghua University*)

LIU XIAN-HUI

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

ABSTRACT

From nuclear individual α -cluster model and by using plane wave impulse approximation, we have discussed the quasi-free scatterings $p-{}^{12}\text{C}(p, p\alpha)$ and $p-{}^{16}\text{O}(p, p\alpha)$ at intermediate energies. The wave function of the individual α -cluster has expanded as a superposition of the Harmonic oscillator wave functions. The parameters of Harmonic oscillator are determined by fitting the nuclear charge form factor obtained from electron-nucleus scattering experiments. The calculated result shows that the use of the α -cluster wave function can give a theoretical quasi free cross section which agrees better with the data.