

两种核 α 粒子模型波函数的一个对比*

杨永栩

(广西师范大学物理系, 桂林 541001)

李清涓

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

摘 要

对于两种不同的核内 α 粒子波函数——独立 α 粒子模型波函数和简单高斯型波函数, 通过重离子散射进行检验。实验明显支持前者而不利后者。

轻原子核 α 粒子结构问题已经研究很多年了。其中 ^{16}O 被认为是典型的具有 α 粒子结构的原子核之一。从 α 粒子结构观点, ^{16}O 原子核是由 4 个 α 粒子组成。这一点, 对于各种 α 粒子结构模型是共同的。但最重要的是: α 粒子在核内的波函数是什么? 对于这一点, 不同的模型有不同的回答。最近, 在重离子散射的研究中, 一种具有简单高斯型的 α 粒子波函数被使用^[1-3]。这一波函数的优点是十分简单, 可使核过程的实际计算大大简化。但是这一波函数具有严重的缺点, 正如在文献[4]中所证明的, 它不能正确给出电子散射的实验结果。

本文中, 我们将介绍使用独立 α 粒子模型波函数^[5]计算 α 粒子被 ^{16}O 核散射的一个结果, 并与文献[1]中使用简单高斯型波函数的结果进行对比, 以鉴别那一种波函数更好。

α 粒子被原子核 ^{16}O 的散射, 在核 α 粒子结构观点下, 可以看成是入射的 α 粒子被靶核中的 4 个 α 粒子所散射。本文中, 我们将采用重离子散射研究中通常使用的折迭模型 (Folding model) 这一理论框架。在折迭模型下, 基于 ^{16}O 的 4α 结构观点, 入射 α 粒子和 ^{16}O 靶间的相互作用势的实部可以用下面的折迭势来代表

$$V(\mathbf{R}) = \int d\mathbf{r} U_{\alpha\alpha}(\mathbf{R} - \mathbf{r}) \rho_{\alpha}(\mathbf{r}), \quad (1)$$

这里 $\rho_{\alpha}(\mathbf{r})$ 代表 α 粒子在 ^{16}O 核内的密度分布, $U_{\alpha\alpha}$ 代表入射 α 粒子和靶核内的一个 α 粒子间的相互作用。

对于两个 α 粒子间的散射, Buck 等人曾给出一个形式十分简单的 α - α 相互作用势^[6]

$$U_{\alpha\alpha}(r) = -122.6225e^{-0.22r^2}(\text{MeV}). \quad (2)$$

本文 1992 年 3 月 12 日收到。

* 本工作得到国家自然科学基金与中国科学院理论物理所的资助。

这个势可以很好地给出质心能量直到 40MeV 的 α - α 散射相移。

$\rho_\alpha(r)$ 是 α 粒子密度, 直接由核 α 粒子结构模型波函数给出。不同的 α 粒子模型将给出不同的 ρ_α 。文献[1]中使用简单高斯型的 ρ_α 。本文中, 我们使用文献[5]中的独立 α 粒子模型波函数来得到 ρ_α 。

在折迭模型框架下, 使用折迭势(1)作为实部, 再加上一个标准的 Woods-Saxon 型的虚部和库伦势, 我们得到一个描述 α 粒子与 ^{16}O 原子核间的光学势

$$U(R) = N_r V(R) - iW_0 \{1 + \exp[(R - R_w)/a_w]\}^{-1} + V_{\text{coul.}} \quad (3)$$

本文中, 虚部半径和扩散宽度根据前人取值被固定为 $R_w = 1.4A^{1/3}\text{fm}$ 和 $a_w = 0.7\text{fm}$ [7] 而不再像一般文献中的做法令其为可调参数。这样一来, 与通常的标准折迭模型含有四个可调参数不同, 本文只取 N_r 和 W_0 为可调参数, 以使理论结果能尽量地符合实验数据。

使用(3)式的光学势, 我们计算了 $E_\alpha = 48.7\text{MeV}$ 的 $\alpha + ^{16}\text{O}$ 弹性散射微分截面。(因为文献[1]中也只计算了 48.7MeV 一种能量, 所以, 本文为了比较也只给出这个能量下的计算结果。)计算结果如图 1 中的实线所示。这一结果对应 $N_r = 0.82$ 和 $W_0 = 15\text{MeV}$ 。图中的圆点是实验点。我们看到, 本文建立在独立 α 粒子模型下的折迭势非常好地再现了整个角区的实验结果。作为对比, 文献[1]中使用简单高斯型 α 粒子波函数的结果也给在同一图中, 如虚线所示。该结果对应 $N_r = 1.19$ 。对于这两种不同的 α 粒子波函数, 其重规一因子 N_r 与 1 的偏离度(这一偏离度是折迭模型好坏的一个量度), 分别为 18% 与 19%, 倒也分不出高下。但是, 两者给出的微分截面在 $100^\circ - 150^\circ$ 的大角度区相差很大。这两个折迭模型的根本差别在于使用了不同的 α 粒子波函数。正如我们在文献[4]的计算所表明, 文献[1]所采用的简单高斯型波函数只能给出 $q^2 < 2\text{fm}^{-2}$ 区域的 ^{16}O 的电荷形状因子, 而完全不能给出 $q^2 \geq 2\text{fm}^{-2}$ 区域的实验数据。与此对照, 本文使用的独立 α 粒子模型波函数可以非常好地给出直到 $q^2 \approx 9\text{fm}^{-2}$ 的实验数据[5]。因此导致这两个模型在图 1 中所显示出在大角区的重大差别。

实验明显地支持独立 α 粒子模型波函数, 而不利于简单高斯型波函数。

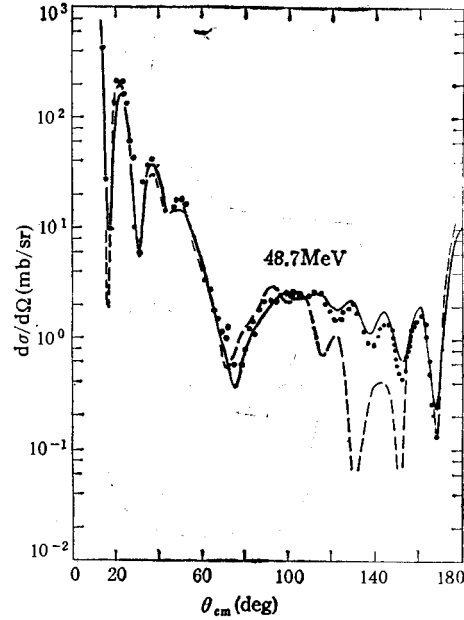


图 1 $\alpha + ^{16}\text{O}$ 弹性散射微分截面
实线为本文结果, 虚线为文献[1]中结果, 实验数据取自[8]

参 考 文 献

- [1] Farid M. El-Azab, *J. Phys.*, **G**: 16(1990), 461.
- [2] Farid M. El-Azab, *J. Phys.*, **G**: 15(1989), 1437.
- [3] S. A. E. Khallaf et al., *J. Phys.*, **G**: 8(1982), 1721.

- [4] Li Qing-run, *Chinese Phys. Lett.*, 9(1992), 349.
[5] 李清润、陈生忠、赵恩广, 高能物理与核物理, 5(1981), 531.
[6] B. Buck, H. Friedrich and C. Weathly, *Nucl. Phys.*, A275(1977), 246.
[7] P. P. Singh et al., *Phys. Rev. Lett.*, 23(1969), 1124.
[8] H. Abele et al., *Z. Phys.*, A326(1987), 373.

A Comparison Between two Different α -Particle Wave Functions via Heavy ion Scattering

YANG YONGXU

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

LI QINGRUN

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

ABSTRACT

The independent α -particle model wavefunction and the wavefunction with the simple Gaussain form are tested by means of the heavy ion scattering. The experimental data obviously support the former but are unfavorable to the later.