

$\pi^+ - {}^{16}\text{O}$ 弹性散射的微观计算

刘波

吴宗恩

(中国科学院高能物理研究所) (广西大学)

摘 要

本文用 π 核散射的微观描述, 计算了 $T_{\pi^+}^{\text{lab}} = 240, 343\text{MeV}$ 时 $\pi^+ - {}^{16}\text{O}$ 弹性散射微分截面, 定性地符合实验。

中能 π 核子散射的主要特点是 isobar- Δ 共振。因此, 近年来在 π 核相互作用中, 人们试图引入 isobar- Δ 自由度。为了探讨 isobar- Δ 在 π 核散射中的效应, W. Weise 等人发展了 π 核散射的 isobar- Δ -空穴描述方法^[1-3], 并用这种方法对 π 在 ${}^{12}\text{C}$ 上的散射作了计算^[4]。我们称这种方法为 π 核散射的微观描述。用此方法, 在 L-S 耦合近似下, 我们对 $\pi^+ - {}^{16}\text{O}$ 弹性散射作了计算。

在(3,3)共振区附近, π 核散射主要是通过 isobar- Δ 散射, 即入射 π 介子与靶核子相互作用, 主要形成 isobar- Δ -空穴 (Δh) 对。由于 Δ 与周围核子的强相互作用, 使各种 (Δh) 组态耦合起来, 导致同位旋 $T = 1$ 、总角动量 $J^\pi = 0^-, 1^+, 2^-, \dots$ 等原子核的多体激发模型。这些核激发 $|\alpha\rangle = |(\Delta h)J^\pi, T\rangle$ 衰变后发射 π 介子, 留下的靶核可以是基态, 也可以是激发态。用这种 isobar- Δ -空穴描述 π 核散射时, T 矩阵是:

$$T(E_\pi, \mathbf{k}, \mathbf{k}') = \sum_{J^\pi M_\pi} \frac{\langle \mathbf{k}', f | H_{\Delta N \pi}^+ | \Psi_n^{J^\pi} \rangle \langle \Psi_n^{J^\pi} | H_{\Delta N \pi} | \mathbf{k}, i \rangle}{E_\pi - E_n^{J^\pi}}, \quad (1)$$

这里 $|i, \mathbf{k}\rangle$ 和 $|f, \mathbf{k}'\rangle$ 表示初末态, $|\Psi_n^{J^\pi}\rangle$ 和 $E_n^{J^\pi}$ 是 $T = 1, J^\pi = 0^-, 1^+, 2^-, \dots$ 的本征波函数和本征能量, 即 isobar- Δ 和核子耦合体系的总哈密顿量的本征解, 可以由求解 TDA 方程(或 RPA 方程)得到。

$$H_{\Delta N \pi} = i \frac{f_{\Delta N \pi}}{m_\pi} (\boldsymbol{\sigma}_{\Delta N} \cdot \mathbf{q})(\boldsymbol{\tau}_{\Delta N} \cdot \boldsymbol{\varphi}) \quad (2)$$

其中 $\boldsymbol{\varphi}$ 是 π 介子场, $\boldsymbol{\sigma}_{\Delta N}, \boldsymbol{\tau}_{\Delta N}$ 是核子跃迁到 isobar- Δ 的自旋、同位旋跃迁算符, 它们的约化矩阵元是:

$$\left\langle \frac{3}{2} \parallel \boldsymbol{\sigma}_{\Delta N} \parallel \frac{1}{2} \right\rangle = \left\langle \frac{3}{2} \parallel \boldsymbol{\tau}_{\Delta N} \parallel \frac{1}{2} \right\rangle = 2. \quad (3)$$

$$\frac{f_{\Delta N \pi}^2}{4\pi} = \begin{cases} 0.23 & (\text{由 quark 模型给出}) \\ 0.35 & (\text{由自由 } \Delta \text{ 的宽度给出}) \end{cases}$$

弹性散射振幅是

$$f(E_\pi, \theta) = -\frac{2E_\pi}{4\pi} T(E_\pi, \mathbf{k}, \mathbf{k}'), \quad (4)$$

弹性散射微分截面是

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(E_\pi, \theta)|^2. \quad (5)$$

(2)式中的 \mathbf{q} 是 π 核子质心系中的 π 介子动量, 而计算 T 矩阵元总是在 π 核质心系进行, 所以从 π 核子质心系的 π 动量 \mathbf{q} 变换到 π 核质心系中的 π 动量 \mathbf{k} 要实行如下的运动学变换:

$$\mathbf{q} = \beta \mathbf{k}, \quad (6)$$

$$\beta = \frac{M_N + E_\pi/A}{M_N + E_\pi}, \quad (6')$$

其中 M_N 是核子质量.

我们用 π 核散射的 isobar- Δ -空穴描述方法, 即微观描述计算了在 (3, 3) 共振区附近, $\pi^+-^{16}\text{O}$ 弹性散射微分截面. 在 L-S 耦合近似下求解 TDA 方程得到 $|\Psi_\pi^{\Delta\pi}\rangle$ 和 $E_\pi^{\Delta\pi}$. isobar- Δ 波函数和空穴波函数取为谐振子波函数, 谐振子参数取为 0.6fm^{-1} , $|\Delta h\rangle$ 基取到 $3\hbar\omega$ 激发. 在计算如图 1 的直接道的 isobar- Δ -空穴相互作用矩阵元时, 我们采用了文献 [1] 中的方法, 暂不考虑张量力, 并且考虑了 Ericson-Ericson-Lorentz-Lorentz 修正. isobar- Δ 的宽度取为自由 Δ 的宽度. 在计算 T 矩阵元时考虑了 (6) 式对散射振幅引起的修正.

我们计算了 $T_{\pi^{\text{lab}} = 240, 343\text{MeV}}$ 时 $\pi^+-^{16}\text{O}$ 弹性散射的微分截面, 计算结果和实验的比较在图 2 中, 实验资料取自文献 [5]. 在我们的计算中, 使用的耦合常数是 $f_{\Delta N\pi}^2/4\pi =$

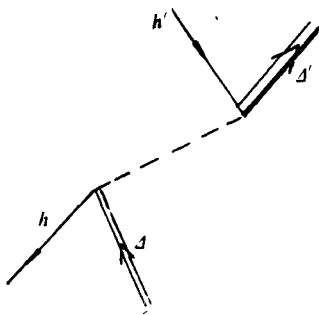


图 1 isobar- Δ -空穴相互作用

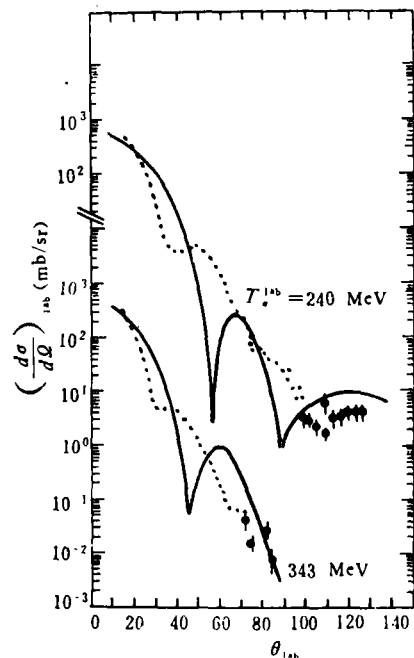


图 2 $\pi^+-^{16}\text{O}$ 弹性散射微分截面

0.35. 图2中入射 π 能量为343MeV的曲线是用10归一化后的结果。从图2可以看到,理论结果和实验都有朝前峰,在小角度理论和实验是符合的。在定量上,对于入射 π 能量为240MeV来说,理论结果与实验是符合的,而对于入射 π 能量为343MeV来说,理论结果比实验小10倍左右。看来在我们的计算中 isobar- Δ -空穴 $|\Delta h\rangle$ 基只取到 $3\hbar\omega$ 激发是不够的,进一步的计算是应该考虑高壳激发的贡献。

虽然我们的计算还是粗糙的,很多因素还未考虑,尤其是我们是在L-S耦合近似下作的微观计算,但仍能给出与实验基本符合的趋势。这表明 π 核散射的这种微观描述是一种很好的方法,同时也表明 isobar- Δ 门口态在 π 核散射中是重要的。

在我们的工作中,张宗焯同志给了我们很多有益的讨论和帮助,对此向张宗焯同志表示感谢。

参 考 文 献

- [1] W. Weise, *Nucl. Phys.*, **A278** (1977), 402.
- [2] E. Oset and W. Weise, *Nucl. Phys.*, **A319** (1979), 477.
- [3] G. E. Brown and W. Weise, *Phys. Reports*, **22C** (1975), 279.
- [4] K. Klingenberg, M. Dillig and M. G. Huber, *Phys. Rev. Lett.*, **41** (1978), 387.
- [5] J. P. Albanese and J. Arvieux, *Phys. Lett.*, **73B** (1978), 119.

A MICROSCOPIC CALCULATION OF $\pi^+ - {}^{16}\text{O}$ ELASTIC SCATTERING

LIU Bo

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

WU ZONG-EN

(*Guangxi University*)

ABSTRACT

The differential cross section of $\pi^+ - {}^{16}\text{O}$ elastic scattering at $T_{\text{lab}} = 240,343$ MeV is calculated using a microscopic description of the π -nucleus scattering. The results are in agreement with the experimental data qualitatively.