

$\Delta(1236)$ 束缚态

刘波 李清润 赵恩广

(中国科学院理论物理研究所) (中国科学院高能物理研究所)

摘 要

用薛定格方程讨论了在 O^{16} 中一个束缚的 $\Delta(1236)$ 的单粒子能量和波函数。

一、引 言

近年来研究在核内核子激发态 $\Delta(1236)$ 效应问题引起了人们很大兴趣^[1]。对于在氦核基态和三体核如象 H^3 、 He^3 中存在核子激发态的影响已经作了很多研究^[2]。在 π 核散射中,又推广研究了核子激发态门口态问题^[3]。为了探讨在原子核中可能存在核子激发态成分,在 (p, π^-) 反应中又提出了 Δ^{++} 交换模型^[4]。为了研究在原子核中核子激发态的效应,不但需要知道在原子核内核子激发态所受到的平均场的知识,而且需要知道在原子核所提供的平均场下,核子激发态所占据的状态的知识。此外,用 Δ 交换模型研究 (p, π^-) 反应中也需要关于在核内核子激发态的波函数。因此研究 Δ 在原子核内的束缚态将有助于进一步深入探讨在核内核子激发态的效应。

我们从薛定格方程出发,用了一个 Woods-Saxon 型位势,求解 Δ 的束缚态。为了简单,以 O^{16} 为例,得到在 O^{16} 中一个 Δ 的单粒子能级和波函数,并与核子的情况作了比较。

二、平均场和本征态方程

我们考虑 $(A + 1)$ 个粒子的体系,其中有一个 $\Delta(1236)$ 和 A 个核子。 A 个核子组成的原子核体系对 $\Delta(1236)$ 提供一个平均场,这个平均场由三部分贡献组成:

1. 中心势

$$\begin{aligned} v_c(r) &= -v_0 f(r), \\ f(r) &= \frac{1}{1 + e^{\frac{r-R}{\alpha}}} \end{aligned} \quad (1)$$

$v_0 > 0$ 是势阱深度, R 是原子核半径, $R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$, r_0 是原子核半径参数, α 叫扩散参数。

2. 自旋-轨道项

关于 Δ 的自旋-轨道耦合方面的知识实验上没有,我们采用与核子有类似的形式自

旋-轨道耦合项:

$$v_{si}(r) = -v_0 \times \lambda \times \frac{\lambda_c^2}{2} \frac{1}{r} \frac{df}{dr} (\mathbf{s}_\Delta \cdot \mathbf{l}), \quad (2)$$

$\lambda_c = \frac{\hbar}{M_r C}$ 是 Δ 的约化康普顿波长, λ 是自旋-轨道耦合常数, \mathbf{s}_Δ 是 $\Delta(1236)$ 的自旋算符.

3. 库仑势

$$v_{\text{coul}}(r) = \begin{cases} \frac{Z_p Z_t l^2}{r}, & r \geq R_c \\ \frac{Z_p Z_t e^2}{R_c} \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{R_c} \right)^2 \right), & r < R_c \end{cases} \quad (3)$$

R_c 是原子核的库仑半径, Z_p 和 Z_t 分别是 Δ 和原子核的电荷.

我们从薛定格方程出发, 研究 $\Delta(1236)$ 在原子核中的束缚态, 是解一个给定核位势的薛定格方程

$$u''_{nlij}(r) + \frac{2M_r}{\hbar^2} \left[E_{nlij} - v_c(r) - v_{\text{coul}}(r) + v_0 \times \lambda \times \frac{\lambda_c^2}{2} \frac{1}{r} \frac{df}{dr} (\mathbf{s}_\Delta \cdot \mathbf{l}) \right] u_{nlij}(r) - \frac{l(l+1)}{r^2} u_{nlij}(r) = 0. \quad (4)$$

M_r 是 Δ 的约化质量, E_{nlij} 是本征值.

$$\mathbf{s}_\Delta \cdot \mathbf{l} = \begin{cases} \frac{3}{2} l & j = l + \frac{3}{2} \\ -\frac{3}{2} (l+1) & j = l - \frac{3}{2} \\ +\frac{1}{2} (l-3) & j = l + \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} (l+4) & j = l - \frac{1}{2} \end{cases} \quad (5)$$

边界条件和归一化条件是

$$u(0) = u(\infty) = 0, \quad (6)$$

$$\int_0^\infty u^2(r) dr = 1. \quad (7)$$

三、参数和结果

计算中使用的核位势参数给在表 1 中. Δ 平均阱的深度根据文献 [1] 给出的结果. 关于 Δ 的自旋-轨道耦合方面的知识知道的很少, 我们仿照核子情况, 用了一个与中心势相比跟核子类似的比例. 为了进行比较, 在表 1 中也给出了核子的核位势参数.

计算得到的 Δ 单粒子能量给在表 2 中, 为了与核子比较, 把我们计算得到的核子的单粒子能量也列在表 2 中. Δ^{++} 与质子波函数的比较画在图 1 中, Δ^+ 与质子和 Δ^0 与中子波函数的比较与 Δ^{++} 和质子波函数的情况类似.

表1 势参数

| | $v_0(\text{MeV})$ | $r_0(10^{-13}\text{cm})$ | $R(10^{-13}\text{cm})$ | α | λ |
|-------------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|----------|-----------|
| Δ^0 | -48.9 | 1.1 | 2.77 | 0.6 | 71 |
| Δ^+, Δ^{++} | -49.76 | 1.1 | 2.77 | 0.6 | 71 |
| n | -63.91 | 1.1 | 2.77 | 0.6 | 42 |
| p | -64.76 | 1.1 | 2.77 | 0.6 | 42 |

表2 能量本征值

| 状态 nlj | Δ^0 | Δ^+ | Δ^{++} | 状态 nlj | n | p |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| | $E_{nlj}(\text{MeV})$ | $E_{nlj}(\text{MeV})$ | $E_{nlj}(\text{MeV})$ | | $E_{nlj}(\text{MeV})$ | $E_{nlj}(\text{MeV})$ |
| $1s_{3/2}$ | -26.64 | -22.12 | -16.97 | $1s_{1/2}$ | -34.99 | -30.45 |
| $1p_{3/2}$ | -17.81 | -13.75 | -9.13 | $1p_{3/2}$ | -19.59 | -15.48 |
| $1p_{3/2}$ | -10.33 | -6.2 | -1.69 | $1p_{1/2}$ | -13.77 | -9.62 |
| $1p_{1/2}$ | -6.003 | -1.89 | 不束缚 | $1d_{3/2}$ | -4.19 | -0.65 |
| | | | | $2s_{1/2}$ | -1.17 | 不束缚 |

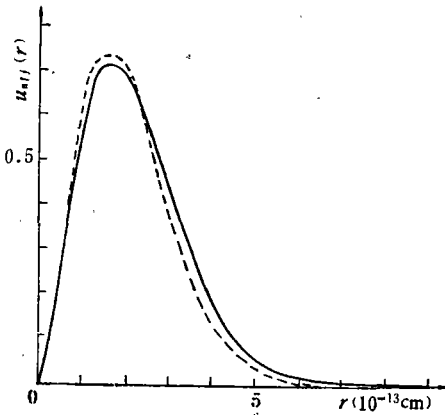


图1(a) Δ^{++} 波函数与质子波函数的比较
实线是 $\Delta^{++} 1s_{3/2}$ 态波函数;虚线是
质子 $1s_{1/2}$ 态波函数

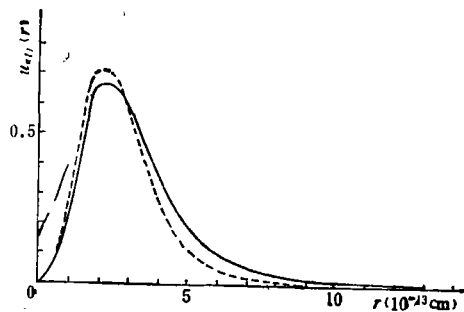


图1(b) Δ^{++} 波函数与质子波函数比较
实线是 $\Delta^{++} 1p_{3/2}$ 态波函数;虚线是
质子 $1p_{3/2}$ 态波函数

四、讨论

我们得到的 Δ 的束缚态能级排列次序是与核子的类似,这是由于我们使用了与核子有相同形式的自旋-轨道耦合势。自旋-轨道耦合引起的能级劈裂的大小也与核子相同,这是显然的,由于我们用了—个与中心力相比跟核子有类似比例的自旋-轨道耦合常数。

由于 Δ 的平均场比核子浅,我们得到的束缚的 Δ 的单粒子能量与核子单粒子能量比较, Δ^+ 与质子和 Δ^0 与中子相差8—9MeV, Δ^{++} 比 Δ^+ 还多一个单位电荷,所以 Δ^{++} 与质

子单粒子能量相差 13—14MeV。在 Δ 的平均阱宽度与核子的平均阱宽度相同情况下, Δ 波函数的峰值位置与核子相同, 只是峰值比核子小, 但在势阱表面, Δ 波函数要比核子波函数向外延伸, 这是自然的, 因为 Δ 的平均阱比核子的浅。计算结果说明, Δ 束缚在核内是松散的。

我们把求解核子束缚态方法推广到求解 Δ 束缚态, 为了简单, 我们以 O^{16} 为例, 讨论在 O^{16} 中一个 Δ 的束缚的单粒子能级和单粒子波函数, 得到在 O^{16} 中 Δ 束缚态的定性结果。我们没有考虑核子之间的关系效应和原子核的集体效应对 Δ 单粒子能量和波函数的影响。显然, 我们的结果是初步的。为了进一步研究 Δ 在核内的效应, 必须深入研究 N - Δ 相互作用。

参 考 文 献

- [1] A. K. Kerman and L. S. Kisslinger, *Phys. Rev.*, **180** (1969), 1483.
张宗焯、王英才, *高能物理与核物理*, **2**(1978), 75.
- [2] H. Arenhövel, *Phys. Lett.*, **31B** (1970), 109.,
A. M. Green, *Nucl. Phys.*, **A188** (1972), 289.
- [3] L. S. Kisslinger, *Ann of Phys.*, **99** (1976), 374.
- [4] L. S. Kisslinger, *Nucl. Phys.*, **A254** (1975), 493.

THE BOUND STATES OF THE ISOBAR Δ (1236)

LIU BO LI QING-RUN

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

ZHAO EN-GUANG

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

ABSTRACT

We have discussed the single particle energies and wave functions of a bound isobar in O^{16} by using the schrödinger equation.