

${}^6_{\Lambda}\text{Li}$ 超核的基态能量

李训贵

(湘潭师院物理系 湖南 411201)

1992年6月16日收到

摘 要

本文将谐振子乘积态为基的方法推广应用于组分集团自旋非零的系统。用此方法和 $\alpha + p + \Lambda$ 三集团模型详细研究了 ${}^6_{\Lambda}\text{Li}$ 超核的基态结构特征。计算结果表明,此方法可以较好地适用于组分集团自旋非零的系统。

关键词 超核, 谐振子乘积态展开, 基态能量。

1 引 言

人们已用谐振子乘积态为基这种少体方法进行了大量的核结构研究^[1-4]。但这些研究的对象大多都是组分集团自旋为零的系统,或是在计算中忽略了自旋相关部分,而对组分集团非零的系统的研究并不多。本文在文献[2]的基础上,将谐振子乘积态为基的方法推广应用于组分集团自旋非零的系统,用此方法来研究 ${}^6_{\Lambda}\text{Li}$ 超核的基态结构,得到了可与实验及其它计算方法相比拟的结果。

本文第二节给出理论模型和计算公式;第三节给出计算结果,并对结果进行深入讨论。

2 理论模型

将 ${}^6_{\Lambda}\text{Li}$ 超核作为 $\alpha + p + \Lambda$ 的三体束缚系统, α 有一定大小,但无内部结构。选取如图 1(a) 所示的 Jacobi 坐标, ${}^6_{\Lambda}\text{Li}$ 作为三体束缚系统的波函数可展开为:

$$\psi_J = \sum_{K,L,S} C(K,L,S) [\phi_{KLM_L} \otimes (\chi_p \chi_{\Lambda})_{SM_S}]_J, \quad (1)$$

其中 $C(K,L,S)$ 为展开系数, χ_p, χ_{Λ} 分别为质子和 Λ 粒子的自旋波函数, ϕ_{KLM_L} 为谐振子乘积态波函数:

$$\phi_{KLM_L} = [\varphi_{n_l}(\sqrt{\mu_r} \mathbf{r}) \varphi_{N_L}(\sqrt{\mu_R} \mathbf{R})]_{KLM_L}, \quad (2)$$

它是由两个角动量分别为 l 和 L 的谐振子基耦合成的总轨道角动量为 L 的谐振子乘积态基, l 为 α - p 之间相对运动的轨道角动量, 对应的约化质量为 μ_r , L 是 (αp) - Λ 之

间相对运动的轨道角动量,对应的约化质量是 μ_R , K 表示一组量子数 $\{nlNL\}$.

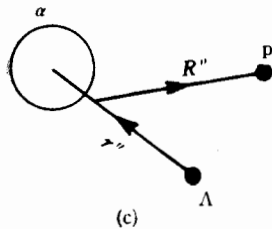
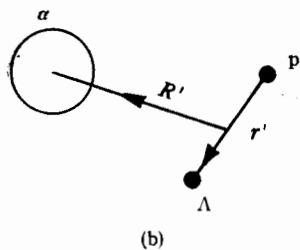
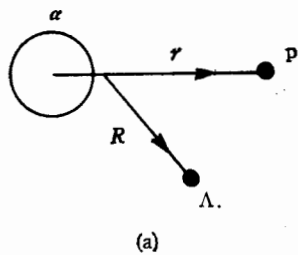


图1 α -p- Λ 三体系统的 Jacobi 坐标

V_c^0 代表中心斥力的强度,但在 αp 相互作用中, $V_c^0 = 0$, 即 αp 相互作用是没有排斥芯的^[6]. 此 $V_{\alpha p}$ 在拟合 ${}^5\text{Li}$ 的基态能量时,得到的值为 1.99MeV, 与 1.97MeV 的实验值相近.

Λ -p 相互作用取为^[7]:

$$V_{\Lambda p} = -v(r)(1 - \sigma + \sigma p)(1 + \eta \sigma_p \cdot \sigma_\Lambda). \quad (5)$$

式中 p 为空间反演算符, σ_p , σ_Λ 分别为 p 和 Λ 的自旋算符, $\sigma = 0.20$, $\eta = -0.10$. 其中的 $v(r)$ 为中心势^[5]:

$$v(r) = b_1 \exp(-r^2/r_1^2) - b_2 \exp(-r^2/r_2^2). \quad (6)$$

而 $b_1 = 38.19\text{MeV}$, $b_2 = 0$,

$$r_1 = 1.034\text{fm}, r_2 = 0.60\text{fm}.$$

α - Λ 相互作用势取为^[8]:

$$v_{\alpha\Lambda}(r) = -v_{\alpha\Lambda}^0 \exp(-\lambda r^2). \quad (7)$$

$$v_{\alpha\Lambda}^0 = 43.98\text{MeV}, \lambda = 0.408\text{fm}^{-2}.$$

系统的总角动量为 $J = L + S$, 其中: $S = S_p + S_\Lambda$ 为 p 和 Λ 的总自旋, 可取值为 0 和 1, 而 $L = l + L$ 为总轨道角动量, 因为 ${}^5\text{Li}$ 的基态是 $J^\pi = 1^-$ 的态, 故 L 只可取 1, 2 两个值, 且 l 和 L 取值的奇偶性必须相异. 原则上, (1) 式对 K 的求和包括所有满足

$$2n + l + 2N + L \leq N_0. \quad (3)$$

的态, N_0 的取值从 1 到无穷大, 但实际计算中, 由于系统各体之间是短程的强相互作用, 展式 (1) 收敛较快, 选择有限的 N_0 便可进行有物理意义的计算. 我们的计算中, 取 $N_0 = 11$, N_0 一定, 则由 (3) 式唯一地确定了基矢所张开的希尔伯特空间的维数. 在 $N_0 = 11$ 时, 此维数为 210, 但对于无自旋的系统, 在同样的 N_0 值下, 则只有数十维^[1-3].

对 α - p 相互作用势, 我们取为^[5]:

$$\begin{aligned} V_{\alpha p} = & -V_c^0 \exp(-r^2/h_0^2) + V_c^1 \exp(-r^2/h_1^2) \\ & - V_{Ls}^0 \exp(-r^2/h_2^2) (\mathbf{l} \cdot \mathbf{s}) \\ & + \frac{z_1 z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \operatorname{erf}\left(r/\sqrt{2 - \frac{5}{4}b}\right), \end{aligned} \quad (4)$$

其中,

$$V_c^0 = 43.0\text{MeV}, V_{Ls}^0 = 27.5\text{MeV}, V_c^1 = 0;$$

$$h_0 = 2.236\text{fm}, h_2 = 2.375\text{fm}, b = 1.358\text{fm}.$$

V_c^0 代表中心吸引力的强度, V_{Ls}^0 代表自旋-轨道耦合强度. (4) 式中最后一项为 α - p 之间的库仑相互作用力.

将系统的波函数和哈密顿代入薛定谔方程:

$$H|\psi\rangle = E|\psi\rangle. \quad (8)$$

进一步将(8)式化为一组关于展开系数 $C(K, L, S)$ 的线性代数方程:

$$\sum_{K_2, L_2, S_2} H_{K_1, L_1, S_1; K_2, L_2, S_2} C(K_2, L_2, S_2) = EC(K_1, L_1, S_1), \quad (9)$$

式中 $H_{K_1, L_1, S_1; K_2, L_2, S_2}$ 是系统的哈密顿在谐振子乘积态为基的希尔伯特空间中的矩阵元. 在希尔伯特空间中将矩阵元对角化. 便得到了束缚态的能级和波函数.

3 计算结果和讨论

我们用谐振子乘积态为基的方法, 计算得到 ${}^6\text{Li}$ 超核的基态能量为 2.580MeV, 与实验值 2.530MeV 可相比拟. 计算得到的基态主要处于 $l = 1, L = 0$ 的态, 其角动量的分解为:

$$\begin{aligned} |{}^6\text{Li}; 1^-\rangle_{g.s.} = & 59.2\%(l = 1, L = 0)_{L=1}^{S=0} \\ & + 32.2\%(l = 1, L = 0)_{L=1}^{S=1} + \dots \end{aligned} \quad (10)$$

而文献[9]用 GCM 计算的结果为:

$$\begin{aligned} |{}^6\text{Li}; 1^-\rangle_{g.s.} = & 68\%(l = 1, L = 0)_{L=1}^{S=0} \\ & + 30.9\%(l = 1, L = 0)_{L=1}^{S=1} + \dots \end{aligned} \quad (11)$$

两者相近.

计算结果表明, 谐振子乘积态为基的少体方法可推广应用于组分集团间的相互作用是自旋相关的系统. 但在具体计算中, 随着 N_0 的增加, 希尔伯特空间的维数将急剧增加, 这就对进行数值计算的计算机的容量和计算速度提出了更高的要求, 并且也将引起更多的积累误差. 因此, 发展一种方法, 可在展开式中只计算某些 l 和 L 分波的贡献, 而其余分波的贡献用微扰来代替, 从而大大减少希尔伯特空间的维数, 这将是进一步研究的课题.

参 考 文 献

- [1] Lü Guoxiong and Li Xungui, *Journal of Physics*, **G,15**(1989)65.
- [2] 李训贵, 高能物理与核物理, **4**(1991)316.
- [3] C.G. Bao, *Nucl. Phys.*, **A373**(1982)1.
- [4] T.K. Lim, C.G. Bao, D.P. Hou and H.S. Hubur, «Few-Body Methods: Principles and Applications» (World Scientific Publ. Co., Singapore, 1986), pp. 581—599.
- [5] T. Motoba et al., *Prog. Theor. Phys.*, **1**(1983)189.
- [6] Y. Kurihara et al., *Prog. Theor. Phys.*, **3**(1984)564.
- [7] Auerbach et al., *Journal of Phys.*, **148**(1983)381.
- [8] Y.C. Tang et al., *Phys. Rev.*, **138B**(1965)637.
- [9] T. Motoba et al., *Prog. Theor. Phys. Suppl.*, **No. 81**(1985)42.

The Ground State Energy of the Hypernucleus ${}_{\Lambda}^6\text{Li}$

Li Xungui

(*Department of Physics of Xiangtan Normal College Hunan 411201*)

Received on June 16, 1992

Abstract

This paper extends the method of the harmonic-oscillator product state as basis function to the hypernucleus ${}_{\Lambda}^6\text{Li}$ which is of non-zero spin. we have studied the characteristic of the ground state of the hypernucleus ${}_{\Lambda}^6\text{Li}$ with this method and an $\alpha + p + \Lambda$ three cluster model. The calculated result shows the method can be used to calculate the energy level of the system in which the interaction between the constituent clusters is spin-dependent.

Key Words Hypernuclei, Expansion with harmonic oscillator product states, Ground state energy.