

关于 F^{19} , Ne^{20} 相干能级的结构*

余友文 張宗耀 于 敏

提 要

在前一篇文章^[1]中提出了二个核子空间结构对称的波函数。本文又提出了三个核子和四个核子空间结构全对称的波函数。将本文的波函数与 Flowers 和 Redlich 用壳模型计算的相应的波函数作了比较, 结果发现这些波函数很相一致, 波函数的重迭积分的平方都在 80% 以上。

在文献[1]中, 我們曾指出下面这种双核子结构的物理意义:

$$\sum_{l_1 l_2} A_{l_1 l_2 L} \sum_{m_1 m_2} C_{l_1 m_1 l_2 m_2}^{LM} \varphi_{l_1 m_1}(1) \varphi_{l_2 m_2}(2), \quad (1)$$

式中

$$A_{l_1 l_2 L} = \frac{\hat{l}_1 \hat{l}_2}{\hat{L}} C_{l_1 0 l_2 0}^{L 0},$$

它是在一个大壳中的两个核子最靠近的一种结构, 因此在短程强吸引力相互作用下, 它应当接近真实的波函数。

表 1 是这种结构(用符号 M 表示)与 Elliott Flowers^[2] (R) 和 Redlich^[3] (S) 利用壳模型计算的 O^{18} 和 F^{18} 的几个波函数的比较。

表 1 O^{18} 和 F^{18} 的几个波函数的比较

状 态	组 态	$(d_{5/2})^2$	$(d_{3/2})^2$	$(s_{1/2})^2$	$d_{5/2} d_{3/2}$	$d_{5/2} s_{1/2}$	$d_{3/2} s_{1/2}$	
$T = 1$ $J = 0$	S	0.86	0.31	0.40				$ \langle M S \rangle ^2 = 0.90$
	R	0.89	0.24	0.39				$ \langle M R \rangle ^2 = 0.86$
	M	0.71	0.58	0.41				
$T = 1$ $J = 2$	S	0.71	0.14		0.20	-0.64	0.20	$ \langle M S \rangle ^2 = 0.83$
	R							
	M	0.45	0.34		0.32	-0.60	0.49	
$T = 0$ $J = 1$	S	0.67	-0.16	0.46	-0.56		0.02	$ \langle M S \rangle ^2 = 0.92$ $ \langle M R \rangle ^2 = 0.94$
	R	0.58	-0.19	0.55	-0.57		-0.02	
	$M^{(1)}$	0.48	-0.26	0.41	-0.73		0	
$T = 0$ $J = 3$	S	0.62	-0.05		-0.22	-0.75		$ \langle M S \rangle ^2 = 0.95$
	R							
	$M^{(2)}$	0.51	-0.08		-0.39	-0.76		

1) 轨道角动量 $L = 0$. 2) 轨道角动量 $L = 2$.

* 1964 年 5 月 4 日收到。

由表 1 可見, 的確在壳模型波函数中, 我們所提出的結構占有极大的比重 (80% 以上)。

在文献[1]中, 把具有这种結構的两个粒子叫做配成一对。它們的波函数的空間部分是对称的。对于相同核子, 由于泡利原理的限制, 不能有更多的粒子具有对称的空間部分波函数, 但是对于質子和中子系統, 可以有三个或四个核子的空間部分波函数是对称的。在这种情况下, 下列結構

$$\sum_{l_3} A_{L_1 l_3 L} A_{l_1 l_2 L_1} \sum_{\substack{m_1 m_2 \\ m_3}} C_{L_1 M_1 l_3 m_3}^{L M} C_{l_1 m_1 l_2 m_2}^{L_1 M_1} \varphi_{l_1 m_1}(1) \varphi_{l_2 m_2}(2) \varphi_{l_3 m_3}(3), \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{l_1 l_2 (L_1) \\ l_3 l_4 (L_2)}} A_{L_1 l_2 L} A_{l_1 l_2 L_1} A_{l_3 l_4 L_2} \times \\ \times \sum_{\substack{m_1 m_2 \\ m_3 m_4}} C_{L_1 M_1 l_2 m_2}^{L M} C_{l_1 m_1 l_2 m_2}^{L_1 M_1} C_{l_3 m_3 l_4 m_4}^{L_2 M_2} \varphi_{l_1 m_1}(1) \varphi_{l_2 m_2}(2) \varphi_{l_3 m_3}(3) \varphi_{l_4 m_4}(4) \quad (3)$$

具有明显的物理意义 (自旋同位旋部分波函数是显然的, 这里未写出)。从 $C-G$ 系数的

表 2 F^{19} 的波函数的比较

$T = \frac{1}{2} \quad J = \frac{1}{2}$			$T = \frac{1}{2} \quad J = \frac{3}{2}$			$T = \frac{1}{2} \quad J = \frac{5}{2}$		
组 态 ¹⁾	S	M	组 态	S	M	组 态	S	M
$(d_{5/2})^2 d_{5/2}$	-0.30	-0.30	$(d_{5/2})^2 d_{5/2}$	-0.46	-0.24	$(d_{5/2})^2 d_{5/2} [01]$	-0.69	-0.46
$(d_{3/2})^2 d_{5/2}$	0.03	0.18	$(d_{3/2})^2 d_{5/2}$	-0.20	-0.36	$[1]$	-0.15	-0.10
$(s_{1/2})^2 s_{1/2}$	0.55	0.21	$(d_{5/2})^2 d_{3/2} [01]$	-0.54	-0.50	$(d_{3/2})^2 d_{3/2}$	0.02	0.08
$(d_{5/2})^2 d_{3/2} [21]$	0.17	0.30	$[21]$	-0.29	-0.24	$(d_{5/2})^2 d_{3/2} [21]$	0.13	0.13
$[10]$	-0.08	-0.12	$[10]$	-0.28	-0.24	$[41]$	0.20	0.20
$(d_{5/2})^2 s_{1/2} [01]$	0.52	0.45	$[30]$	-0.14	-0.11	$[10]$	0.13	0.21
$[10]$	-0.37	-0.30	$(d_{5/2})^2 s_{1/2} [21]$	0.22	-0.24	$[30]$	0.10	0.11
$(d_{3/2})^2 d_{5/2} [21]$	-0.12	-0.28	$[10]$	-0.11	-0.10	$(d_{5/2})^2 s_{1/2} [30]$	-0.22	-0.24
$[30]$	-0.01	-0.04	$(d_{3/2})^2 d_{5/2} [21]$	-0.09	-0.12	$[21]$	0.23	0.24
$(d_{3/2})^2 s_{1/2} [01]$	0.22	0.36	$[10]$	0.09	0.08	$(d_{3/2})^2 d_{5/2} [01]$	-0.29	-0.41
$[10]$	0.09	0.15	$[30]$	-0.06	-0.09	$[21]$	-0.07	-0.20
$(d_{5/2} d_{3/2}) s_{1/2} [11]$	-0.01	0	$(d_{3/2})^2 s_{1/2} [21]$	0.08	0.18	$[10]$	-0.11	-0.20
$[10]$	0.33	0.46	$[10]$	0.07	0.18	$[30]$	-0.04	-0.09
			$(s_{1/2})^2 d_{5/2}$	-0.32	-0.26	$(d_{3/2})^2 s_{1/2} [21]$	0.05	0.18
			$(s_{1/2})^2 d_{3/2} [01]$	-0.19	-0.29	$[30]$	0.01	0.04
			$[10]$	-0.09	-0.13	$(s_{1/2})^2 d_{5/2} [10]$	0.25	0.20
			$(d_{5/2} d_{3/2}) s_{1/2} [11]$	-0.00	0	$[01]$	-0.36	-0.29
			$[21]$	0.09	0.17	$(s_{1/2})^2 d_{3/2}$	0.08	0.21
			$[10]$	-0.06	-0.13	$(d_{5/2} d_{3/2}) s_{1/2} [21]$	0.08	0.17
			$[20]$	-0.13	-0.24	$[31]$	-0.01	0
						$[20]$	0.07	0.16
						$[30]$	0.09	0.18

对 $T = \frac{1}{2} \quad J = \frac{1}{2} \quad |<M|S>|^2 = 0.81$; 对 $T = \frac{1}{2} \quad J = \frac{3}{2} \quad |<M|S>|^2 = 0.85$; 对 $T = \frac{1}{2} \quad J = \frac{5}{2} \quad |<M|S>|^2 = 0.84$ 。

1) [] 中的两个数字表示前两个组态中的核子耦合成的中间角动量和同位旋。

性质,不难看出,在(2)和(3)式中,任意二个核子都配成一对,都具有(1)式的结构,这也就是說,三个核子配成三对,四个核子配成六对。

表 2 是(2)式所給出的三个核子的结构(用符号 M 表示)与 Redlich 利用壳模型計算的 F^{19} 的波函数(S)的比較。

由表 2 可見,的确在壳模型波函数中,这里所給出的结构占有絕大比重。目前我們未見到关于 Ne^{20} 的壳模型波函数,因此在这里无法与(3)式进行比較。

文献[1]中曾指出,在零級能退化,二核子間的相互作用力是 δ 型力,并且在把相互作用矩陣元的径向部分取平均值这样一种簡化模型中,二核子的结构(1)式是严格的波函数。这里应当指出,即使在同样的簡化模型中,多核子的结构[(2)式和(3)式]也不是严格的波函数。不过它十分接近严格的波函数。表 3 是这种簡化模型的严格解与结构(3)的比較。

表 3 $Ne^{20} 0^+$ 态簡化模型精确解与结构(3)(括号內数字)之比較¹⁾

$\begin{aligned} \psi_{0^+} = & 0.180 \psi_{000}(12) \psi_{000}(34) + \\ & (0.094) \\ & + 0.107 \sqrt{5} \{ \psi_{000}(12) \psi_{220}(34) + \psi_{220}(12) \psi_{000}(34) + \psi_{202}(12+21) \psi_{202}(34+43) \} - \\ & (0.094 \sqrt{5}) \\ & - 0.382 \sqrt{\frac{2}{7}} \{ \psi_{202}(12+21) \psi_{222}(34) + \psi_{222}(12) \psi_{202}(34+43) \} + \\ & (-0.470 \sqrt{\frac{2}{7}}) \\ & + 0.459 \{ \psi_{220}(12) \psi_{220}(34) + \frac{2}{7} \sqrt{5} \psi_{222}(12) \psi_{222}(34) + \frac{6}{7} \psi_{224}(12) \psi_{224}(34) \} \\ & (0.470) \end{aligned}$

1) $\psi_{l_1 l_2 L_1}$ 下面的三个角碼,分別代表两个核子的組态和它們耦合成的总軌道角动量。

下面我們应用结构(3)定性地討論 Ne^{20} 的 0^+ , 2^+ , 4^+ 三条能級的性質。和文献[1]中一样,取相互作用势为

$$V_0 \delta(\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \delta(\varphi_1 - \varphi_2),$$

很容易算得表 4 各值。

表 4 理论与实验值的比較

	理 论 值	实 验 值
$\frac{E(4^+) - E(0^+)^{1)} }{E(2^+) - E(0^+)}$	2.7	2.6
$\frac{B(E2; 2^+ \rightarrow 0^+)}{B_{IP}}$	7	9

1) 理论值只是核子間相互作用能,未計入零級能。

由表 4 可見,大体能解釋实验現象。当然这里所給出的结构只是极初步的近似,要求它与实验結果定量地符合是没有意义的。

参 考 文 献

- [1] 余友文、张宗桦、于敏, 物理学报, **19** (1963), 483.
[2] Elliott, J. P., Flowers, B. H., *Proc. Roy. Soc.*, **A229** (1955), 536.
[3] Martin G., Redlich, *Phys. Rev.*, **99** (1955), 1427.

ON THE STRUCTURE OF THE COHERENT ENERGY STATES IN NUCLEI F^{19} AND Ne^{20}

YU YOU-WEN CHANG TSUNG-HUA YU MIN

ABSTRACT

In a previous paper^[1] we have proposed a spatially symmetrized wave function of the two-particle system. Here we propose further a wave function of a three- and four-particle system with the same symmetrical property. Comparing our wave functions with the shell model wave functions calculated by Flowers^[2] and by Redlich^[3], we observe the similarity between them and find that the squares of the overlap integrals of the corresponding wave functions are greater than 80%.