第26卷 第11期 高能物理与核物理 Vol.26, No.11
2002年11月 HIGH ENERGY PHYSICS AND NUCLEAR PHYSICS Nov., 2002

平均场加邻近轨道相互作用对力模型在大形变核中的应用*

陈玉艳 潘峰
(辽宁师范大学物理系 大连 116029)

摘要 利用严格可解的平均场加邻近轨道相互作用对力模型来描述大形变核．将该模型应用于稀土区和超铀区的核素．计算了$^{158-171}$Er，$^{160-178}$Yb，$^{170-183}$Hf，$^{226-234}$Th，$^{230-240}$U，及$^{236-243}$Pu同位素的结合能和对激发能，并与实验结果进行了比较．

关键词 平均场 邻近轨道相互作用对力 结合能 对激发

1 引言

对力一直是核结构问题中所考虑的重要剩余相互作用之一．在平均场近似并引入对力后，哈氏量的对角化一般都用BCS理论和HFB方法来作近似处理，并结合无规相近似(RPA)来进一步修正．但是，BCS和HFB理论在处理核系统时都存在严重的缺陷，粒子数不守恒就是其中之一，这就产生了多余伪态、波函数不正交等等的一系列弊病．另一方面，BCS和HFB方法还割裂了一类很重要的物理情形，利用粒子数投影技术的纠正方法使计算更加复杂，且对于高激发谱的修正并没有显著的作用．近年来，比博戈留波夫变换更好的计算技术得到了很大的发展，这些方法都克服了粒子数不守恒的缺陷[1,2]．但在这些近似计算中都要用到组态能量或福克空间基底的截断技术，所以其结果仍然是近似的．平均场加对力问题的严格解最早从等强度对力模型的波函数和激发能的解析解研究开始[3-5]．将此推广到求解更一般的依赖轨道对力模型的方法和结果也已在最近完成[6-8]．这些工作都是利用Bethe假定，通过一组非线性方程的求解来确定激发态和相应的波函数．在实际计算时，对于轨道数和价核子对数都很大的大形变核，该方法并不实用．

2 模型

文献[9]指出，适合描述大形变核的平均场加邻近轨道相互作用对力模型可利用简单快速的代数方法对角化．该模型对一种依赖于轨道的高斯型对力相互作用[2]

2001-11-14 收稿
* 国家自然科学基金(10175031)和省教委科研基金(990311011)资助

$$G_{\alpha\beta} = A e^{-B(\epsilon_\alpha - \epsilon_\beta)^2} \tag{1}$$

作了邻近轨道相互作用近似. 式中,ϵ_α 和 ϵ_β 分别为 α 和 β 轨道的价核子能量,参数 $A<0$ 和 $B>0$ 可根据核基态的结合能及其第一 0^+ 激发态来确定. 作为邻近轨道相互作用近似,相同和最邻近轨道之间的对力强度矩阵元仍用(1)式给出,而其他情形下的对力强度忽略不计,其哈氏量可写为

$$\hat{H} = \sum_i{}' \epsilon_i + \sum_{\langle i,j\rangle}{}' \mathscr{P} t_{ij} b_i^\dagger b_j \mathscr{P},$$

其中右边第一项带撇的求和号是指求和仅对奇 A 核或拆对效应时的单个价核子占据的轨道进行,而这些轨道必需在第二项的求和中排除;$\mathscr{P}$ 是保证轨道不被双对占有的投影算符,$t_{ii}=2\epsilon_i+G_{ii}$,其中 $G_{ii}=A$,$t_{ii+1}=t_{i+1i}=G_{ii+1}$,其他情况 $t_{ij}=0$. (2) 式中的 $b_i^\dagger$ 和 b_i 为费米子对算符,可表示为

$$b_i^\dagger = a_i^\dagger a_{\bar{i}}^\dagger, \quad b_i = a_{\bar{i}} a_i, \tag{3}$$

其中 $a_i^\dagger$ 为第 i 轨道中的价核子产生算符,$a_{\bar{i}}^\dagger$ 为对应的时间反演态算符,且 $b_i^\dagger$ 和 b_i 满足如下广义形变玻色子代数:

$$[b_i, b_j^\dagger] = \delta_{ij}(1-2N_i), \quad [N_i, b_j^\dagger] = \delta_{ij} b_j^\dagger, \quad [N_i, b_j] = -\delta_{ij} b_j, \tag{4}$$

其中 $N_i = \frac{1}{2}(a_i^\dagger a_i + a_{\bar{i}}^\dagger a_{\bar{i}})$. 对偶偶核系统 N_i 是第 i 轨道的价核子对数算符. 本文把核子的平均场取为 Nilsson 哈氏量. 由于泡利原理,每一轨道上最多只能容纳一对价核子. 所以这时的价核子对可等价地当作玻色子来处理,但组态空间和哈氏量都要投影到无轨道被双对占有的子空间内[9].

k 对激发时(2)式的本征态可表示为

$$|k;\xi,(n_{j_1},n_{j_2},\cdots,n_{j_r})n_f\rangle = \sum_{i_1<i_2\cdots<i_k} C^{(\xi)}_{i_1 i_2\cdots i_k} \times b_{i_1}^\dagger b_{i_2}^\dagger \cdots b_{i_k}^\dagger |(n_{j_1},n_{j_2},\cdots,n_{j_r})n_f\rangle,$$

其中 $j_1,j_2,\cdots,j_r$ 表示被 r 个价核子占据的轨道,n_f 为占据这些轨道的价核子总数,即 $=\sum_j n_j$. 本文仅讨论偶偶核和奇 A 核,且不讨论对拆散情况. 所以对于奇 A 核,$r=1$,而对于偶偶核,$r=0$,

$$C^{(\xi)}_{i_1 i_2\cdots i_k} = \begin{vmatrix} g^{\xi_1}_{i_1} & g^{\xi_1}_{i_2} & \cdots & g^{\xi_1}_{i_k} \\ g^{\xi_2}_{i_1} & g^{\xi_2}_{i_2} & \cdots & g^{\xi_2}_{i_k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ g^{\xi_k}_{i_1} & g^{\xi_k}_{i_2} & \cdots & g^{\xi_k}_{i_k} \end{vmatrix},$$

其中 ξ 是区分当价核子数相同时的不同本征态而引入的附加量子数,$g^{\xi_p}_i$ 是划去所有被单个价核子所占据轨道后的 t 矩阵的第 p 个本征矢,该矩阵记为 $\bar{t}$,以区别于原来的 t 矩阵. 如果共有 N 条单核子轨道,则原来的 t 是 $N\times N$ 矩阵,而新的 $\bar{t}$ 为在相应位置划去 r 行和 r 列后的 $(N-r)\times(N-r)$ 矩阵,这正是由于泡利阻塞效应所导致的结果. 与(5)式相应的对激发能可表示为

$$E_k^{(\xi)} = \sum_j{}' \epsilon_j + \sum_{j=1}^{k} E^{(\xi_j)}$$

其中右边第一项仅对奇 A 核或拆对时的单个价核子所占据的 Nilsson 轨道求和,而第二项表示划去被 r 个价核子所占据的轨道后 t 矩阵的 k 个不同本征值之和. $E^{(\xi_p)}$ 是该 t 矩阵的第 p 个本征值,即

$$\sum_j t_{ij} g_j^{\xi_p} = E^{(\xi_p)} g_i^{\xi_p}, \tag{8}$$

从而有

$$\hat{H}\left|k;\xi,(n_{j_1},n_{j_2},\cdots,n_{j_r})n_f\right\rangle = \sum_{i_1<i_2<\cdots<i_k}\sum_{\mu=1}^{k}\sum_{P}(-)^P\Big(\sum_j{}'\epsilon_j + E^{(\xi_{P(\mu)})}\Big)\times$$

$$g_{i_1}^{(\xi_{P(1)})} g_{i_2}^{(\xi_{P(2)})}\cdots g_{i_\mu}^{(\xi_{P(\mu)})}\cdots g_{i_k}^{(\xi_{P(k)})} b_{i_1}^{\dagger} b_{i_2}^{\dagger}\cdots b_{i_k}^{\dagger}\left|(n_{j_1},n_{j_2},\cdots,n_{j_r})n_f\right\rangle =$$

$$E_k^{(\xi)}\left|k;\xi,(n_{j_1},n_{j_2}\cdots n_{j_k})n_f\right\rangle, \tag{9}$$

其中 P 取遍所有置换, $E^{(\xi_\mu)}$ 为(6)式给出的 t 矩阵的第 μ 个本征值. (9)式对任意 k 都成立,且波函数(5)式中不存在轨道被双对占有的组分. 若总轨道数为 N,对偶偶核系统($r=0$), k 对激发能由 t 矩阵的 N 个本征值中的 k 个互不相同的本征值之和给出,总的激发态数目为 $N!/k!(N-k)!$;对奇 A 核或拆对时,存在被单个核子占据的轨道,这时在 t 矩阵中要除去被单个核子所占据的轨道. 这样,求解(2)式的本征值问题可化为相应 t 矩阵的对角化问题. 从而大大简化了计算

3 计算

利用上节给出的平均场加邻近相互作用对力模型对稀土区和超铀区的大形变核进行统一的描述. 首先是利用轴对称 Nilsson 势作为原子核中核子的平均场,从而计算出各 Nilsson 轨道的单粒子能量 ϵ_i,其中指标 i 是一组用于标记 Nilsson 轨道的量子数. 在计算中,由于仅考虑一组同位素中价中子对在变化时对核系统的影响,而且这时质子数是固定的,所以质子对力对一组同位素基态的贡献就是一个常数,它由同位素中质量数最小核的结合能来确定. 作为初步近似并尽量减少模型中的参数,在计算中没有考虑质子与中子之间的相互作用,并冻结了质子对的激发. 另外,计算中没有进一步考虑四极-四极相互作用修正,而主要考虑对力的影响,从而可以利用上节的方法得到严格解的结果. 对于结合能的计算,四极-四极相互作用的贡献相对不大,对于低激发态情况也是这样,所以这种近似是能够接受的[10]. 这两个大形变核区中有许多核素. 为了使结果能够较系统地反映该模型的拟合情况,在拟合中我们仅选取了实验数据较多的同位素. 在稀土区中选择了 $^{158-171}$Er, $^{160-178}$Yb, $^{170-183}$Hf 核;在超铀区中选择了 $^{226-234}$Th, $^{230-240}$U, $^{236-243}$Pu,对其结合能进行了仔细的拟合计算,并由此估算出相应核的对激发能. 计算误差利用均方差

$$\sigma = \Big[\sum_k (E_k - E_k^{\exp})^2/\mathcal{N}\Big]^{\frac{1}{2}} \tag{10}$$

来估计,式中的求和对所有被拟合同位素的结合能进行, $\mathcal{N}$ 为被拟合的核总数.

对于稀土区,价中子占据的轨道在第六主壳层. 在该壳层中总共有 22 条 Nilsson 轨道. 在计算中参数 A 和 B 首先根据结合能的实验值及第一 0^+ 激发态的实验值进行初步

拟合．表 1 给出了同位素$^{158-171}$Er，$^{160-178}$Yb，$^{170-183}$Hf 的结合能和对激发能的理论值与实验值．最后，为了尽量减少参数，A，B 再通过价中子对数和奇 A 核时出现的单个价中子数的线性关系来拟合．在拟合中发现，对于$^{158-171}$Er 核，参数 A，B 可表示为

$$A = -11.59 - 0.4k - 0.3n_f,\quad B = 5.69 + 0.2k - 3n_f, \tag{11}$$

其中 k 表示价中子对数，n_f 为不配对的价核子数，对偶偶核 n_f 取 0，对奇 A 核 n_f 取 1，结合能的均方差为 $\sigma = 4.521$．对于$^{160-178}$Yb 核，参数 A，B 可表示为

$$A = -10.4356 - 0.5575k - 0.77n_f,\quad B = 1.29 + 0.5k - 1.25n_f, \tag{12}$$

其均方差为 $\sigma = 6.217$．对于$^{170-183}$Hf 核，参数 A，B 可表示为

$$A = -12.15 - 0.5k - 0.9n_f,\quad B = 7.1 + 0.5k - 3n_f, \tag{13}$$

其均方差为 $\sigma = 4.800$．

表 1　稀土区$^{158-171}$Er，$^{160-178}$Yb，$^{170-183}$Hf 同位素结合能（B）和对激发能值

同位素	质量数	自旋宇称	B_{exp}/MeV	B_{th}/MeV	对激发能的实验值/MeV		对激发能的理论值/MeV	
$^{158-171}$Er					0_2^+	0.806	0_2^+	0.312
	158	0^+	−1287.640	−1282.253	0_3^+	1.387	0_3^+	2.619
	159	$\frac{3}{2}^-$	−1294.725	−1291.115	—		$\left(\frac{3}{2}\right)_2^-$	1.333
	160	0^+	−1304.289	−1301.887	0_2^+	0.894	0_2^+	1.403
	161	$\frac{3}{2}^-$	−1311.501	−1304.762	—		$\left(\frac{3}{2}\right)_2^-$	0.475
					0_2^+	1.087	0_2^+	1.731
	162	0^+	−1320.715	−1315.463	0_3^+	1.420	0_3^+	3.536
	163	$\frac{5}{2}^-$	−1327.618	−1326.726	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.164	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.531
					0_2^+	1.246	0_2^+	2.015
	164	0^+	−1336.465	−1335.902	0_3^+	1.417	0_3^+	2.527
					$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.296	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.899
	165	$\frac{5}{2}^-$	−1343.115	−1347.402	$\left(\frac{5}{2}\right)_3^-$	0.384	$\left(\frac{5}{2}\right)_3^-$	2.191
					0_2^+	1.460	0_2^+	2.674
	166	0^+	−1351.590	−1356.929	0_3^+	2.187	0_3^+	3.008
	167	$\frac{7}{2}^-$	−1358.026	−1357.193	$\left(\frac{7}{2}\right)_2^-$	0.641	$\left(\frac{7}{2}\right)_2^-$	3.852
					0_2^+	1.217	0_2^+	1.452
	168	0^+	−1365.797	−1370.976	0_3^+	1.422	0_3^+	3.028
					$\left(\frac{1}{2}\right)_2^-$	0.562	$\left(\frac{1}{2}\right)_2^-$	0.029
	169	$\frac{1}{2}$	−1371.800	−1377.012			$\left(\frac{1}{2}\right)_3^-$	1.344
					0_2^+	0.891	0_2^+	0.995
	170	0^+	−1379.059	−1373.838	0_3^+	1.324	0_3^+	2.737
					$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.279	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.894
	171	$\frac{5}{2}^-$	−1384.741	−1378.788	$\left(\frac{5}{2}\right)_3^-$	0.794	$\left(\frac{5}{2}\right)_3^-$	1.964

续表

同位素	质量数	自旋宇称	B_{exp}/MeV	B_{th}/MeV	对激发能的实验值/MeV		对激发能的理论值/MeV	
$^{160-178}Yb$	160	0^+	-1294.809	-1293.012	0_2^+	1.086	0_2^+	2.390
	161	$\frac{3}{2}^-$	-1302.608	-1299.541	—		$\left(\frac{3}{2}\right)_2^-$	1.280
					0_2^+	0.606	0_2^+	1.927
	162	0^+	-1312.638	-1314.301	0_3^+	1.006	0_3^+	3.158
	163	$\frac{3}{2}^-$	-1320.229	-1314.997	$\left(\frac{3}{2}\right)_2^-$	0.871	$\left(\frac{3}{2}\right)_2^-$	1.324
					0_2^+	0.976	0_2^+	2.679
	164	0^+	-1329.926	-1328.877	0_3^+	1.416	0_3^+	4.071
	165	$\frac{5}{2}^-$	-1337.180	-1339.637	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.401	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	1.726
	166	0^+	-1346.666	-1348.517	0_2^+	1.043	0_2^+	1.110
	167	$\frac{5}{2}^-$	-1353.743	-1354.399	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.278	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.361
					0_2^+	1.154	0_2^+	1.681
	168	0^+	-1362.794	-1368.453	0_3^+	1.197	0_3^+	3.344
	169	$\frac{7}{2}^+$	-1369.662	-1369.717	$\left(\frac{7}{2}\right)_2^+$	0.647	$\left(\frac{7}{2}\right)_2^+$	5.154
					0_2^+	1.069	0_2^+	3.201
	170	0^+	-1378.132	-1375.448	0_3^+	1.229	0_3^+	4.444
	171	$\frac{1}{2}^-$	-1384.747	-1385.782	$\left(\frac{1}{2}\right)_2^-$	1.801	$\left(\frac{1}{2}\right)_2^-$	1.834
					0_2^+	1.043	0_2^+	1.671
	172	0^+	-1392.767	-1380.043	0_3^+	1.405	0_3^+	1.975
					0_4^+	2.342	0_4^+	3.027
	173	$\frac{5}{2}^-$	-1399.134	-1390.148	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.482	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.675
					0_2^+	1.487	0_2^+	1.608
	174	0^+	-1406.599	-1413.468	0_3^+	1.886	0_3^+	2.954
	175	$\frac{7}{2}^-$	-1412.421	-1429.467	$\left(\frac{7}{2}\right)_2^-$	0.698	$\left(\frac{7}{2}\right)_2^-$	2.481
	176	0^+	-1419.285	-1416.291	0_2^+	1.779	0_2^+	0.763
	177	$\frac{9}{2}^+$	-1424.852	-1430.199	—		$\left(\frac{9}{2}\right)_2^+$	0.937
	178	0^+	-1431.632	-1436.405	0_2^+	1.315	0_2^+	0.601
$^{170-183}Hf$	170	0^+	-1372.390	-1370.606	0_2^+	0.880	0_2^+	1.144
	171	$\frac{7}{2}^+$	-1379.730	-1380.543	—		$\left(\frac{7}{2}\right)_2^+$	0.421
					0_2^+	0.871	0_2^+	1.708
	172	0^+	-1388.348	-1391.455	0_3^+	1.296	0_3^+	3.254
	173	$\frac{1}{2}^-$	-1395.840	-1394.963	—		$\left(\frac{1}{2}\right)_2^-$	1.154
	174	0^+	-1403.949	-1402.405	0_2^+	0.828	0_2^+	0.924
					$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.213	$\left(\frac{5}{2}\right)_2^-$	0.027
	175	$\frac{5}{2}^-$	-1410.658	-1404.852	—		$\left(\frac{5}{2}\right)_3^-$	0.075

续表

同位素	质量数	自旋宇称	B_{exp}/MeV	B_{th}/MeV	对激发能的实验值/MeV		对激发能的理论值/MeV	
$^{170-183}$Hf					—		$(\frac{5}{2})_4^-$	0.727
	176	0^+	-1418.823	-1411.927	0_2^+	1.150	0_2^+	1.588
					0_3^+	1.293	0_3^+	1.747
					0_4^+	1.749	0_4^+	3.625
	177	$\frac{7}{2}^-$	-1425.202	-1432.574	$(\frac{7}{2})_2^-$	0.604	$(\frac{7}{2})_2^-$	1.000
					$(\frac{7}{2})_3^-$	0.703	$(\frac{7}{2})_3^-$	1.831
	178	0^+	-1432.828	-1424.955	0_2^+	1.199	0_2^+	0.638
					0_3^+	1.434	0_3^+	2.920
	179	$\frac{9}{2}^+$	-1438.927	-1441.566	$(\frac{9}{2})_2^+$	1.121	$(\frac{9}{2})_2^+$	3.246
	180	0^+	-1446.315	-1452.863	0_2^+	1.102	0_2^+	1.254
					0_3^+	1.316	0_3^+	1.730
	181	$\frac{1}{2}^-$	-1452.010	-1453.177	—		$(\frac{1}{2})_2^-$	4.771
	182	0^+	-1458.728	-1465.610	0_2^+	1.034	0_2^+	1.744
					0_3^+	1.265	0_3^+	3.363
	183	$\frac{3}{2}^+$	-1464.025	-1460.913	—		$(\frac{3}{2})_2^+$	0.312

对超铀区，价中子占据的轨道在第七主壳层，共有 29 条 Nilsson 轨道．参数 A 和 B 的确定方法和对稀土区核的拟合方法是相同的．表 2 给出了核$^{226-234}$Th，$^{230-240}$U，$^{236-243}$Pu 结合能和对激发能的理论值与实验值．最后，$^{226-234}$Th 同位素的参数 A，B 可表示为

$$A = -0.78 - 0.32k - 0.62n_f,\quad B = 5.39 + 0.4k - 0.1n_f, \tag{14}$$

式中 k 及 n_f 与(11)式中定义相同，其均方差为 $\sigma = 2.700$．$^{230-240}$U 核的参数 A，B 可表示为

$$A = -1.79 - 0.5k - 0.35n_f,\quad B = 2.59 + 0.3k - 1.4n_f, \tag{15}$$

其均方差为 $\sigma = 3.208$．$^{236-243}$Pu 核的参数 A，B 可表示为

$$A = -0.09 - 0.5k - 0.5n_f,\quad B = 1.39 + 0.2k - 0.4n_f, \tag{16}$$

其均方差为 $\sigma = 1.435$．在拟合中，所有的实验值都取自文献[11]．

表 2　超铀区$^{226-234}$Th，$^{230-240}$U，$^{236-243}$Pu 同位素结合能(B)和对激发能值

同位素	质量数	自旋宇称	B_{exp}/MeV	B_{th}/MeV	对激发能的实验值/MeV		对激发能的理论值/MeV	
$^{226-234}$Th	226	0^+	-1730.542	-1732.173	0_2^+	0.805	0_2^+	0.999
	227	$\frac{1}{2}$	-1735.997	-1733.966	$(\frac{1}{2})_2^+$	3.226	$(\frac{1}{2})_2^+$	1.299
					$(\frac{1}{2})_3^+$	5.188	$(\frac{1}{2})_3^+$	1.391
					$(\frac{1}{2})_4^+$	6.495	$(\frac{1}{2})_4^+$	1.415

续表

同位素	质量数	自旋宇称	B_{exp}/MeV	B_{th}/MeV	对激发能的实验值/MeV		对激发能的理论值/MeV	
$^{226-234}$Th	228	0^+	-1743.107	-1739.310	0_2^+	0.831	0_2^+	0.718
	229	$\frac{5}{2}^+$	-1748.361	-1744.421	$(\frac{5}{2})_2^+$	0.029	$(\frac{5}{2})_2^+$	0.057
					$(\frac{5}{2})_3^+$	0.317	$(\frac{5}{2})_3^+$	0.516
	230	0^+	-1755.156	-1756.891	0_2^+	0.635	0_2^+	1.199
	231	$\frac{5}{2}^+$	-1760.274	-1764.212	$(\frac{5}{2})_2^+$	0.241	$(\frac{5}{2})_2^+$	0.907
					$(\frac{5}{2})_3^+$	0.302	$(\frac{5}{2})_3^+$	1.204
					$(\frac{5}{2})_4^+$	0.317	$(\frac{5}{2})_4^+$	1.230
	232	0^+	-1766.712	-1768.666	0_2^+	0.730	0_2^+	1.647
					0_3^+	1.079	0_3^+	2.585
	233	$\frac{1}{2}^+$	-1771.498	-1772.924	$(\frac{1}{2})_2^+$	0.310	$(\frac{1}{2})_2^+$	0.907
	234	0^+	-1777.689	-1779.811	0_2^+	0.810	0_2^+	1.066
					0_3^+	1.150	0_3^+	2.562
					0_4^+	1.470	0_3^+	2.904
$^{230-240}$U	230	0^+	-1752.845	-1757.063	—		0_2^+	0.787
	231	$\frac{5}{2}^-$	-1758.717	-1761.259	—		$(\frac{5}{2})_2$	0.646
	232	0^+	-1765.990	-1764.943	0_2^+	0.691	0_2^+	0.961
	233	$\frac{5}{2}^+$	-1771.749	-1770.241	$(\frac{5}{2})_2^+$	0.340	$(\frac{5}{2})_2^+$	0.732
					$(\frac{5}{2})_3^+$	0.546	$(\frac{5}{2})_3^+$	0.803
	234	0^+	-1778.593	-1774.411	0_2^+	0.809	0_2^+	0.747
					0_3^+	1.044	0_3^+	0.933
					0_4^+	1.781	0_4^+	1.696
	235	$\frac{7}{2}^-$	-1783.891	-1780.233	$(\frac{7}{2})_2^-$	0.670	$(\frac{7}{2})_2^-$	0.826
					$(\frac{7}{2})_3^-$	0.700	$(\frac{7}{2})_3^-$	1.056
	236	0^+	-1790.436	-1786.709	0_2^+	0.919	0_2^+	0.913
					0_3^+	2.155	0_3^+	1.186
					0_4^+	2.750	0_4^+	2.319
					$(\frac{1}{2})_2^+$	0.846	$(\frac{1}{2})_2^+$	0.586

续表

同位素	质量数	自旋宇称	B_{exp}/MeV	B_{th}/MeV	对激发能的实验值/MeV		对激发能的理论值/MeV	
$^{230-240}U$	237	$\frac{1}{2}^+$	-1795.562	-1795.485	$\left(\frac{1}{2}\right)^+_3$	0.905	$\left(\frac{1}{2}\right)^+_3$	0.700
					0_2^+	0.925	0_2^+	0.877
	238	0^+	-1801.716	-1802.224	0_3^+	0.993	0_3^+	2.874
					$\left(\frac{5}{2}\right)^+_2$	0.193	$\left(\frac{5}{2}\right)^+_2$	0.185
	239	$\frac{5}{2}^+$	-1806.522	-1810.232	$\left(\frac{5}{2}\right)^+_3$	0.734	$\left(\frac{5}{2}\right)^+_3$	0.459
					$\left(\frac{5}{2}\right)^+_4$	0.757	$\left(\frac{5}{2}\right)^+_4$	0.786
	240	0^+	-1812.453	-1817.626	—		0_2^+	0.100
$^{236-243}Pu$	236	0^+	-1788.418	-1790.320	0_2^+	3.000	0_2^+	0.645
					$\left(\frac{7}{2}\right)^-_2$	0.691	$\left(\frac{7}{2}\right)^-_2$	0.617
	237	$\frac{7}{2}^-$	-1794.295	-1794.604	$\left(\frac{7}{2}\right)^-_3$	0.696	$\left(\frac{7}{2}\right)^-_3$	2.173
					0_2^+	0.942	0_2^+	0.407
					0_3^+	1.134	0_3^+	1.987
	238	0^+	-1801.296	-1799.539	0_4^+	1.229	0_4^+	2.170
					0_5^+	1.427	0_5^+	2.681
	239	$\frac{1}{2}^+$	-1806.943	-1805.546	$\left(\frac{1}{2}\right)^+_2$	0.753	$\left(\frac{1}{2}\right)^+_2$	0.354
					0_2^+	0.860	0_2^+	1.030
	240	0^+	-1813.476	-1811.701	0_3^+	1.089	0_3^+	2.144
					0_4^+	1.526	0_4^+	2.626
					$\left(\frac{5}{2}\right)^+_2$	0.233	$\left(\frac{5}{2}\right)^+_2$	0.088
	241	$\frac{5}{2}^+$	-1818.718	-1818.166	$\left(\frac{5}{2}\right)^+_3$	0.801	$\left(\frac{5}{2}\right)^+_3$	0.587
	242	0^+	-1825.027	-1824.506	0_2^+	0.956	0_2^+	1.186
					$\left(\frac{7}{2}\right)^-_2$	0.333	$\left(\frac{7}{2}\right)^-_2$	0.845
	243	$\frac{7}{2}^-$	-1830.062	-1832.061	$\left(\frac{7}{2}\right)^-_3$	0.450	$\left(\frac{7}{2}\right)^-_3$	1.146
					$\left(\frac{7}{2}\right)^-_4$	0.742	$\left(\frac{7}{2}\right)^-_4$	1.815

从表 1,2 可以看出稀土区核的结合能拟合的误差较大，均方差 σ 也普遍比超铀区的核素大. 从拟合的误差来看，超铀区的结果更为理想. 从对激发谱的结果来看，稀土区核的第一 0^+ 对激发态能量的理论值基本上远远大于相应的实验值，而超铀区核的第一 0^+ 对激发态的位置大部分位于实验的第一 0^+ 激发态和第二 0^+ 激发态之间. 这与文献[12]

所指出的低激发 0^+ 态的组分大部分来自于对力的贡献是基本一致的. 在本文提出的模型中,只考虑了平均场和邻近轨道相互作用对力,冻结了质子对的激发,并且忽略了质子中子之间的相互作用,也没有考虑四极-四极相互作用的影响,故在误差允许的范围内,超铀区的低对激发能谱的理论值基本上与实验值相符合. 至于稀土区的对激发能偏高的现象尚有待进一步研究.

参考文献(References)

1 ZENG J Y, CHENG C S. Nucl. Phys., 1983, **A405**: 1

2 Molique H, Dudek J. Phys. Rev., 1997, **C56**: 1795

3 Richardson R W. Phys. Lett., 1963, **5**: 82

4 Richardson R W. J. Math. Phys., 1965, **6**: 1034

5 Richardson R W, Shermen N. Nucl. Phys., 1964, **52**: 221

6 PAN F, Draayer J P. Phys. Lett., 1998, **B442**: 7

7 PAN F, Draayer J P. Ann. Phys., (NY) 1999, **271**: 120

8 PAN F, Draayer J P, GUO L. J. Phys., 2000, **A33**: 1597

9 PAN F, DAI Lian-Rong. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2001, **25**: 134 (in Chinese)
(潘峰,戴连荣. 高能物理与核物理, 2001, **25**: 134)

10 Nilsson S G, Prior O. Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk., 1961, **32**: 1

11 Mler P, Nix J R, Myers W D et al. Atomic Data Nucl. Data Tables, 1995, **59**: 185—381

12 Garret P E. J. Phys., G: Nucl. Part. Phys., 2001, **27**: R1

Applications of Mean-field Plus Nearest-Orbit Pairing Interaction Model to Well-Deformed Nuclei*

CHEN Yu-Yan PAN Feng

(Department of Physics, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract An exactly solvable mean-filed plus nearest-orbit pairing model for describing the well-deformed nuclei is adopted for study of the nuclei in rare-earth and actinide regions. Binding energies and pairing excitation energies of $^{158-171}$Er, $^{160-178}$Yb, $^{170-183}$Hf, $^{226-234}$Th, $^{230-240}$U and $^{236-243}$Pu isotopes are calculated and compared with the corresponding experimental results.

Key words mean-field, nearest-orbit pairing interaction, binding energy, pairing excitation

Received 14 November 2001

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10175031) and Science Foundation of Liaoning Education Commission (990311011)