

中子 $i_{13/2}$ 组态在 $A=120-140$ 区超形变态中的作用*

张敬业

(理论物理中心, CCAST(世界实验室))

(中国科学院近物所, 兰州)

摘 要

$A=120-140$ 质量区的超形变带已发现许多事例, 一般均认为中子 $i_{13/2}$ 轨道的占据是导致超形变带出现的重要原因. 本文利用我们提出的改进了的本质量区的 Nilsson $\kappa\mu$ 参数, 系统地计算了 $Z=56-64, N=69-77$ 奇中子核的 $i_{13/2}$ 带头能量及形变. 所得结果一方面说明了 $\nu i_{13/2}$ 轨道的占据, 确实有利于原子核趋于超形变; 另一方面又指出了从实验上易于发现 $\nu i_{13/2}$ 组态的可能原子核.

由于壳结构效应的存在, 原子核有可能存在很大的形变. 除了早已知道的裂变同质异能态外, 在谐振子近似下, 理论上还预言了超形变态的存在^[1]. 在轴对称情况下, 对应于转动频率比 $\omega_1:\omega_3=2:1$ ($\epsilon_2=0.6$) 及 $=3:2$ ($\epsilon_2\approx 0.38$). 接着利用 Nilsson-Strutinsky 方法^[2]所作的位能面计算^[3]更具体地给出了一些稀土核超形变极小对应的形变值及出现的自旋范围. 自1984年发现了¹⁵²Dy核存在着超形变($\epsilon_2\approx 0.6$)带^[4]以来, 超形变带的研究已成为近四、五年来高自旋态核结构物理最热门的课题之一^[5-8].

在寻找新的超形变带的同时, 有的实验小组, 例如美国纽约州立大学 Stony Brook 分校的核结构实验小组, 在理论工作者的指导下, 利用只有四到五个康普顿抑制(Compton-Suppressed) Ge 探测器等比较简陋的设备, 对超形变态的组态进行了比较深入的研究. 而为了发现超形变带本身, 一般需要有晶体球一类的设备, 以便探测到足够高的自旋态. 这个小组发现¹³⁷Sm₇₅核的 $\nu i_{13/2}$ 带, 果然具有比基带($h_{11/2}$ 带)大50%的转动惯量^[9]. 如果考虑到 $(i_{13/2}, 1/2)$ 轨道较 $(h_{11/2}, 9/2)$ 轨道更远离费米面, 因而 $i_{13/2}$ 轨道的阻塞对于对关联的减弱效应比 $h_{11/2}$ 轨道的阻塞为小, 则较大的转动惯量应该认为是来自于较大的形变. 利用 Nilsson-Strutinsky 方法^[2]所进行的位能面计算^[9]给出基态形变是 $\epsilon_2=0.190$ 而 $i_{13/2}$ 带带头形变 $\epsilon_2=0.280$. 更为重要的是, Nilsson 推转模型计算所给出的结果(参看文献[9]图3)表明, 随着转动频率的增加, $\nu i_{13/2}$ 轨道的驱动势将使核具有更大的形变. 这个实验结果和理论计算说明了 $\nu i_{13/2}$ 轨道的占据确实对 $A=120-140$ 这一质量

本文1989年10月6日收到.

* 自然科学基金资助项目.

区超形变带的存在起了决定性作用。

因此对于这个质量区 $\nu i_{13/2}$ 轨道作用的系统研究是十分有意义的。可以想见, $\nu i_{13/2}$ 带带头的位置和形变的变化规律是比较复杂的。首先,若形变一定,则随着中子数 N 的增加 $i_{13/2}$ 轨道会逐渐靠近费米面;其次当 z 一定,随着 N 越来越接近于 82 这一满壳,形变会越来越小;最后,在这一质量区,当 N 一定, Z 从 56 到 64 形变的总趋势是增大的。这些相互竞争的因素使得 $\nu i_{13/2}$ 的带头位置和形变对 Z 和 N 的依赖关系比较复杂。

本文根据通常的 Nilsson-Strudinsky 方法,并利用调整了的这一质量区的 Nilsson 参数 $\kappa\mu^{[10]}$, 对 $Z = 56-64$, $N = 69-77$ 的所有奇中子核进行了位能面计算。表 1¹⁾ 给出了基态的组态和形变以及 $i_{13/2}$ 带头的形变和能量。图 1 给出了 $i_{13/2}$ 带头相对于基态的能量,作为 Z 和 N 的函数。由表和图我们可以得出如下结论:

表 1 $Z = 56-64, N = 69-77$ 奇中子核位能面计算结果

Z	N	基态组态	基态形变		$i_{13/2}$ 带头形变		$i_{13/2}$ 带头相对能量 (MeV)
			ϵ_2	ϵ_4	ϵ_2	ϵ_4	
56	69	$h_{11/2}, 7/2$	0.250	0.031	0.280	0.014	3.195
	71	$h_{11/2}, 7/2$	0.215	0.021	0.270	0.021	3.124
	73	$g_{7/2}, 7/2$	0.190	0.021	0.235	0.011	3.293
	75	$h_{11/2}, 9/2$	0.155	0.019	0.200	0.006	3.469
	77	$d_{3/2}, 3/2$	0.115	0.011	0.160	0.003	3.815
58	69	$h_{11/2}, 7/2$	0.275	0.037	0.290	0.011	2.895
	71	$g_{7/2}, 5/2$	0.245	0.037	0.285	0.021	2.735
	73	$g_{7/2}, 7/2$	0.200	0.026	0.255	0.011	2.956
	75	$h_{11/2}, 9/2$	0.165	0.024	0.210	0.011	3.247
	77	$d_{3/2}, 1/2$	0.130	0.019	0.175	0.011	3.584
60	69	$h_{11/2}, 7/2$	0.290	0.037	0.300	0.011	2.686
	71	$g_{7/2}, 5/2$	0.260	0.039	0.295	0.019	2.413
	73	$g_{7/2}, 7/2$	0.220	0.031	0.280	0.011	2.479
	75	$h_{11/2}, 9/2$	0.180	0.031	0.265	0.003	2.886
	77	$d_{3/2}, 1/2$	0.135	0.024	0.190	0.014	3.380
62	69	$h_{11/2}, 7/2$	0.300	0.039	0.305	0.019	2.707
	71	$g_{7/2}, 5/2$	0.280	0.042	0.305	0.029	2.241
	73	$g_{7/2}, 7/2$	0.230	0.031	0.295	0.016	2.095
	75	$h_{11/2}, 9/2$	0.190	0.031	0.280	0.006	2.408
	77	$(d_{3/2}, 1/2)^*$	0.145	0.026	0.270	0.001	3.042
64	69	$h_{11/2}, 7/2$	0.305	0.049	0.310	0.031	2.811
	71	$g_{7/2}, 5/2$	0.285	0.047	0.310	0.039	2.235
	73	$g_{7/2}, 7/2$	0.240	0.037	0.310	0.031	1.957
	75	$h_{11/2}, 9/2$	0.205	0.037	0.285	0.014	2.062
	77	$(d_{3/2}, 1/2)^\dagger$	0.155	0.026	0.275	0.009	2.600

* 还有一个扁椭球极小, ($h_{11/2}, 3/2$) $\epsilon_2 = -0.150$, $\epsilon_4 = 0.029$, 能量比 ($d_{3/2}, 1/2$) 还低 49keV, 表中列的是长椭球极小。

† 还有一个扁椭球极小, ($h_{11/2}, 3/2$) $\epsilon_2 = -0.160$, $\epsilon_4 = 0.029$ 能量比 ($d_{3/2}, 1/2$) 还低 251keV。

1) 表 1 所列的 $N = 75$ 同中素的数值, 和文献[9]表 1 有微小的差别, 这是由于文献[9]的计算, 是用未调整过的标准 Nilsson 参数 κ, μ 进行的。

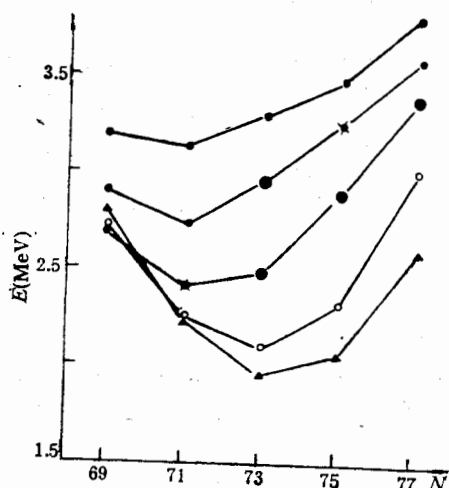


图 1 $Z=56-64, N=69-77$ 奇中子核 $i_{13/2}$ 带头的相对能量作为 N 的函数图
大圆圈所标明的点是已观察到超形变带的核, 叉号所标明的, 是已进行的实验中尚未
观察到超形变带的核

- (i) 所有的 $i_{13/2}$ 带头均具有比对应的基态为大的形变;
(ii) $\nu i_{13/2}$ 带头能量与 ZN 的依赖关系是复杂的, 每个同位素链的曲线均存在个极小;
(iii) 能够在实验上比较容易观察到的低位 $\nu i_{13/2}$ 带的原子核是: $^{125,127}\text{Ba}$, $^{127,129,131}\text{Ce}$, $^{129,131,133,137}\text{Nd}$, $^{133,135,137}\text{Sm}$, $^{135,137,139,141}\text{Gd}$. 这是原子核的缺中子程度自然会影
响实验实现的可能性.

(iv) 作为比较, 我们所知的目前实验上已发现超形变带的这个质量区的奇中子核也在图中标出. 应该设想 ^{131}Nd 和 ^{135}Sm 及其紧邻的核中, 是有可能观察到超形变带的. 以上结论自然有待于实验的进一步验证. 从理论角度来说, 计算中是作了一定近似的. Nilsson 模型本身就是一种近似, 尽管这个区的质子 $\kappa\mu$ 参数根据新实验数据作了拟合^[10], 获得比标准 $\kappa\mu$ 为好的结果, 但中子 $\kappa\mu$ 参数由于实验数据的限制尚未作过改进. 而且对关联的处理也是近似的^[9]. 新的实验事实无疑将加深对这个质量区核结构的认识并促进理论的发展.

参 考 文 献

- [1] A. Bohr and B. Mottelson, "Nuclear Structure", Vol. II, Ch. 6, Benjamin, New York, 1975.
- [2] S. G. Nilsson et al., *Nucl. Phys.*, **A131**(1969), 1.
- [3] R. Bentsson et al., *Phys. Lett.*, **57B**(1975), 301.
K. Neergard and V. V. Pashkevich, *Phys. Lett.*, **59B**(1975), 218.
- [4] P. J. Twin et al., *Phys. Rev. Lett.*, **55**(1985), 1380;
R. M. Nyako et al., *Phys. Rev. Lett.*, **52**(1984), 507.
P. J. Twin et al., *Phys. Rev. Lett.*, **57**(1986), 811.
- [5] B. Hass et al., *Phys. Rev. Lett.*, **60**(1988), 503;
M. A. Deleplanque et al., *Phys. Rev. Lett.*, **60**(1988), 1626.
- [6] J. Nolan et al., *J. Phys.*, **G11**(1985), L17;
A. J. Kirwan et al., *Phys. Rev. Lett.*, **58**(1987), 467;

- J. Nolan et al., "Workshop on Nuclear structure", Slide report, NBI, Copenhagen, Denmark May 16—20, 1988.
- Y. X. Luo (罗亦孝) et al., *Z. Phys.*, **A329**(1988), 125; 高能物理与核物理, **13**(1989), 632.
- [7] T. Bengtsson, I. Ragnarsson and S. Aberg, *Phys. Lett.*, **B208**(1988), 39.
- [8] J. K. Johansson et al., "Multiple Superdeformed Bands in ^{153}Dy ", to be published.
- [9] E. S. Paul, R. Ma, C. W. Beausang, D. B. Fossan, W. F. Piel, Jr. S. Shi, N. Xu and J. Y. Zhang (张敬业), *Phys. Rev. Lett.*, **61**(1988), 42.
- [10] J. Y. Zhang (张敬业) N. Xu, D. B. Fossan, Y. Liang, R. Ma, and E. S. Paul, *Phys. Rev.*, **C39**(1989), 714.

THE ROLE OF NEUTRON $i_{13/2}$ CONFIGURATION IN SUPERDEFORMED STATES IN $A=120-140$ MASS REGION

ZHANG JINGYE

(Center of Theoretical Physics, CCAST(World Lab))

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou)

ABSTRACT

Many superdeformed bands have been observed in $A=120-140$ mass region. The occupation of $\nu i_{13/2}$ orbit is generally considered as the important cause. $\nu i_{13/2}$ band head energy and deformation of odd N nuclei for $Z=56-64$ and $N=69-77$ has been calculated systematically with our modified Nilsson κ, μ parameters in this mass region. Results show that on the one hand, the occupation of $\nu i_{13/2}$ orbit does favor the superdeformation tendency of nuclei; and on the other hand, the possible candidates of low lying $\nu i_{13/2}$ configuration for experimental observation.