

碘与铯同位素高自旋带结构的区别

张敬业¹⁾

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

摘 要

理论上指出由于在单粒子能级图上, 扁椭球和长椭球的两侧均存在下降轨道, 因此 $Z=52-56$ 原子核会有低位的扁椭球和长椭球转动带. 最近对碘和铯同位素的高自旋带结构进行了仔细的实验研究, 发现碘同位素中除有长椭球转动带外, 确有质子 $h_{11/2}$ 、 $g_{7/2}$ 和 $d_{5/2}$ 组态的扁椭球转动带. 但是在铯同位素中, 迄今都只发现长椭球转动带, 而未发现扁椭球转动带. 利用新调整过的 Nilsson 参数, 进一步作了计算. 结果表明, 对于扁椭球形状, 碘同位素的壳修正能及自洽对关联的绝对值均大于铯同位素的; 而且碘同位素与铯同位素比较, 带头扁椭球与长椭球能量差, 也更有利于扁椭球形变. 这一切结果均密切联系于单粒子能级图上存在一个扁椭球质子 54 能隙的事实.

近年来, $A=120-140$ 质量区高自旋态研究已引起广泛的兴趣, 积累了大量的实验数据. 尤其是奇质子核的研究, 出现了一些有趣的结果, 其中特别引人注意的是关于碘同位素的高自旋带结构的特征. 例如 $^{117,119,121,123,125}_{53}\text{I}$, 实验上不仅发现了 $h_{11/2}$ 、 $g_{9/2}$ 、 $g_{7/2}$ 和 $d_{5/2}$ 的长椭球 (Prolate) 形变的转动带, 而且也发现了 ($g_{7/2}$, $d_{5/2}$) 和 $h_{11/2}$ 的扁椭球 (oblate) 形变的转动带^[1,2]. 除此之外, 不久前还发现了在 $^{119,121}\text{I}$ 核的高自旋转动带中负宇称转动带的终结 (band termination), 即核具有非集体的扁椭球形变^[3]. 这种丰富的形状共存结构在理论上事先已有过比较详细的计算和讨论 (可参看文献 [1, 2, 4, 5]). 理论上指出, 当质子数略超过 50 满壳数时 (例如 $Z=52-56$), 在扁椭球和长椭球两侧, 质子单粒子的 Nilsson 轨道均是下降的, 因此原则上有可能出现扁椭球与长椭球的形状共存. 有了碘 ($Z=53$) 同位素的实验证实, 铯 ($Z=55$) 同位素的情况如何呢? 将这类同位素的高自旋带结构进行系统比较和分析, 显然对于深入理解这一质量区的核结构是十分有意义的.

• 中国自然科学基金部分资助.

1) 高等科学技术中心理论分中心客座研究人员.

本文 1992 年 1 月 16 日收到.

二

在 $A=120-140$ 这一质量区,质子的单粒子 Nilsson 能级图如图 1 所示,这是应用调整过的 Nilsson 参数 κ, μ ^[4]做成的.从图中可见当质子数超过 50 满壳之后,在扁椭球一侧存在 $(g_{7/2}d_{5/2})$ 的 $[404]7/2$ 轨道, $[402]5/2$ 轨道和 $h_{11/2}$ 的 $[505]11/2$ 轨道.这些都是高 K 值的轨道.而在长椭球一侧是 $(g_{7/2}, d_{5/2})$ 的 $[420]1/2$, $[411]3/2$ 和 $[440]1/2$, 以及 $h_{11/2}$ 的 $[550]1/2$ 几条低 K 轨道.在单粒子占据这两类轨道的组态上所建立起来的转动带有明显的区别:例如,在能级结构上,扁椭球一侧的高 K 组态的转动带是强耦合带,因而无“标识”(signature)劈裂.“标识”是与核绕转动轴转动 180° 变换对应的量子数, $r=e^{-ikj_x}$, j_x 是角动量在转动轴上的投影.而长椭球一侧的低 K 组态转动带是脱耦合带,因而存在较大的标识劈裂,即同一组态而具有不同标识值的两条转动带的罗斯量(转动坐标系中的能量),在同一转动频率下,数值不同.此外,在电磁跃迁性质上也有明显的不同.这种本质上的区别使得长椭球转动带与扁椭球转动带从实验上比较容易被区别开来.

如前所述,在已研究过的碘同位素中,长椭球和扁椭球转动带均在实验上观察到了^[1-3].然而,同一个实验小组,在同样的设备条件下,对于比碘多了两个质子数的铯 ($Z=55$) 同位素,如 $^{121,123,125,127}_{55}\text{Cs}$,迄今既未发现 $(g_{7/2}, d_{5/2})$ 的扁椭球转动带,也未发现 $h_{11/2}$ 的扁椭球转动带^[6,7].这是为什么呢?

让我们再分析一下图 1,在扁椭球一侧很容易注意到存在一个 54 的能隙.看来,正是由于这一能隙的存在使得质子数小于 54 和大于 54 的核素在形状共存上出现了重大差别:这一能隙的存在使得碘 ($Z=53$) 同位素的扁椭球结构在能量上较对应的铯 ($Z=55$) 同位素更为有利因而更加稳定.下面一些理论计算结果,可以有助于论证这一论点.

图 2a, b, c 是从通常的 Nilsson+Strutinsky+BCS 的位能面计算(参看文献[4])结果提取出来的扁椭球极小与长椭球极小的能量差, $\Delta E = E_{\text{obl}} - E_{\text{pro}}$, 随中子数的变化关系图.其中 a 是对应于 $h_{11/2}$ 组态, b 是 $g_{7/2}$ 组态而 c 是 $d_{5/2}$ 组态.由图 2 显然可见,对所涉及的三种组态,碘同位素的 ΔE 值均小于铯同位素的对应值,这意味着在碘同位素中,扁椭球结构在能量上更为有利,因而亦更为稳定.

众所周知,这类位能面计算是存在近似的,例如对于对关联的处理,除了仅包括单极相互作用外,并未作对关联的自洽计算,也未作粒子数投影处理.因此能量极小的绝对值(所谓带头能量)和实验值会有偏离.但在同样近似下,两种同位素的差别则是直接和单粒

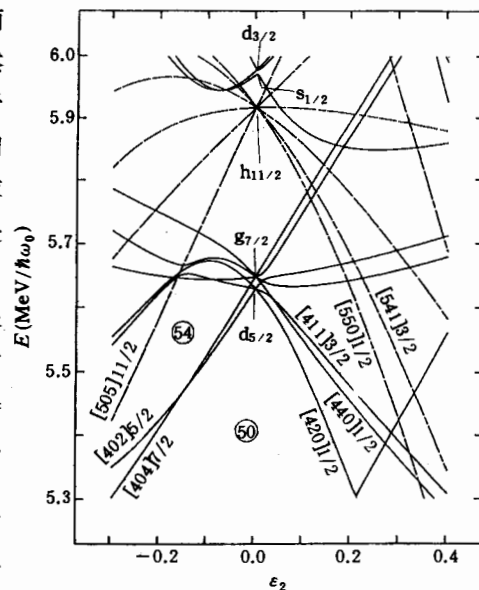


图 1 用调整过的 κ, μ 做成的质子 Nilsson 单粒子能级图

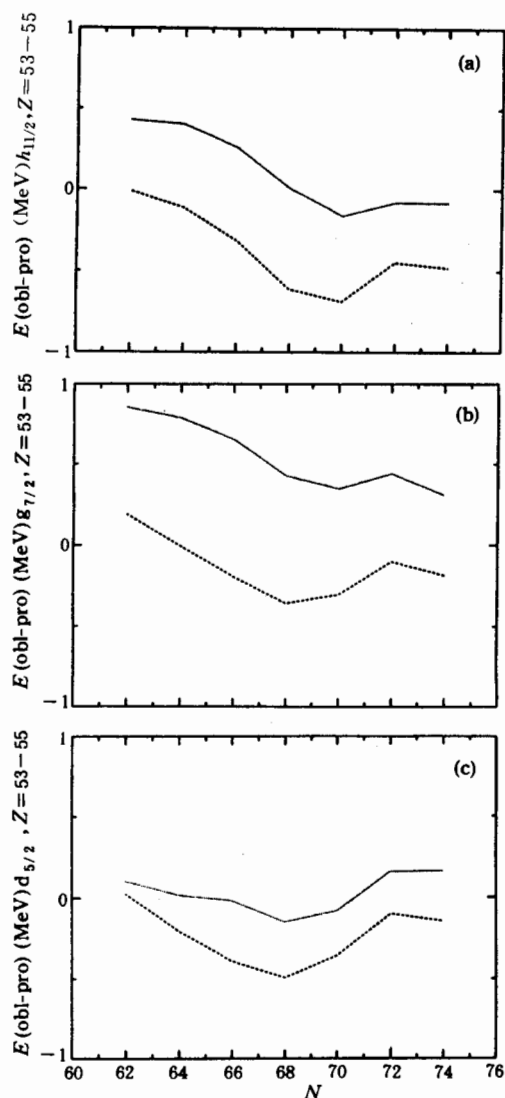


图2 扁椭球极小与长椭球极小能量差与中子数关系曲线

a. $h_{11/2}$ 组态, b. $g_{7/2}$ 组态, c. $d_{5/2}$ 组态, 点线对应于 $Z=55$, 虚线对应于 $Z=53$

子结构密切联系的. 为了进一步探讨在位能面计算中对关联处理上的近似对上述结论的影响, 我们在粒子数投影下对对关联作了自洽计算. 利用了位能面计算所得的扁椭球形变值, 对于 $Z=53, 55$, 是 $h_{11/2}$ 组态的扁椭球形变值. 图3是中子数为64—72, 质子数为52, 53, 54, 56四种同位素的自洽对关联能量的曲线. 从图中, 除了可以看到预计的偶偶核的对关联总是大于(负得更多)相邻奇A核(奇核子的阻塞效应)之外, 碘同位素的对关联确是强于铯同位素的. 这表示, 自洽对关联的计算结果, 仍是指出碘同位素的扁椭球结构在能量上比铯同位素更为有利.

图4则是对应于图3同样的扁椭球形变下, 有关同位素的壳修正能曲线. 结果也显示出, 碘同位素的扁椭球形状在壳修正能上也较铯同位素的更低, 因而在能量上更为有利.

值得指出的是, 上述图2、3、4的结果, 均密切联系于质子数为54的扁椭球能隙的存在, 而这一能隙只出现在调整过的Nilsson参数^[4]所产生的单粒子能级图上. 如果用标准的Nilsson参数^[8], 由于无明显的 $Z=54$ 能隙的存在, 结果将是不同的^[4]. 作为例子图5显示的是碘同位素与铯同位素中 $d_{5/2}$ 组态的扁椭球与长椭球极小能量差与中子数的关系曲线. 用调整过的 κ, μ 所得的对应的 ΔE 的差别见图2c.

三

丰富的扁椭球结构存在于 $Z=53$ 的碘同位素中, 而相应的扁椭球结构迄今未能在 $Z=55$ 的铯同位素中发现. 这一事实揭示了这两种同位素在核结构上的区别. 通过通常的位能面计算以及进一步的对关联自洽计算和壳修正能的分析, 我们指出, 这个区别很可能来源于用调整过的Nilsson参数所产生的质子单粒子能级图上 $Z=54$ 扁椭球能隙的存在. 应该指出的是, Woods-Saxon位的单粒子能级图上, 也存在这一能隙, 但出现的形变范围和绝对大小与图1小有差别. 正是由于这一能隙的存在, 使得扁椭球结构在碘同位素中能量上更为有利.

对 $A=120-140$ 区的核结构特征的深入研究还有待于更精密, 更丰富的实验测量和

进一步的系统的理论计算.

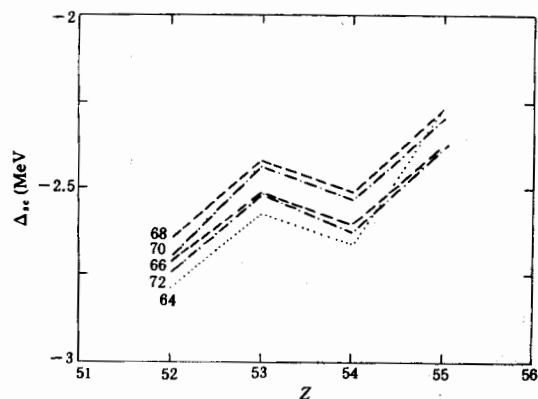


图 3 自洽对关联能 Δ_v 与质子数的关系曲线
曲线左侧所标的是中子数

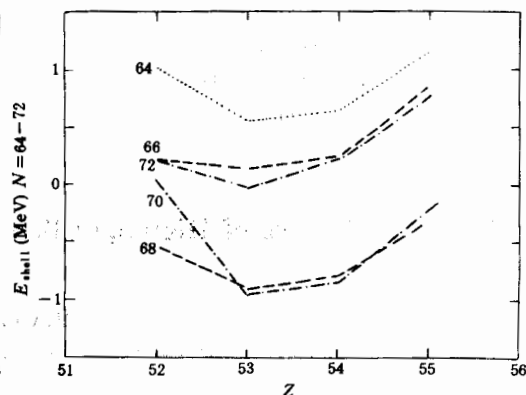


图 4 壳修正能与质子数的关系曲线
所用形变值与图 3 相同

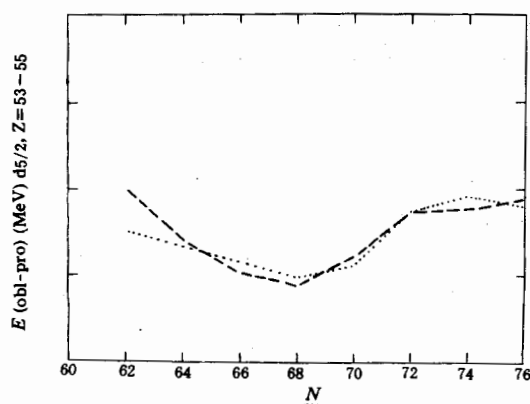


图 5 用标准 Nilsson 参数^[8]进行的位能面计算
所得的 $d_{5/2}$ 组态扁椭球极小与长椭球极小
的能量差曲线
点线为 $Z=55$, 虚线为 $Z=53$

作者感谢美国纽约州立大学石溪分校 D. Fossan 教授所作的有益讨论.

参 考 文 献

- [1] Y. Liang, R. Ma, E. S. Paul et al., *Phys Rev. Lett.*, **64**(1990),29.
- [2] Y. Liang, D. B. Fossan, J. R. Hughes et al., Proc. of conf. "High Spin and Gamma-soft Nuclei", Pittsburgh, 1990, p308.
- [3] Y. Liang, D. B. Fossan, J. R. Hughes et al., *Phys. Rev.*, **C44**(1991),R578.
- [4] Zhang Jingye, N. Xu, D. B. Fossan et al., *Phys. Rev.*, **C39**(1989),714.
- [5] N. Xu, Zhang Jingye, D. B. Fossan et al., *Phys. Rev.*, **C42**(1990),1394.

- [6] J. R. Hughes, D. B. Fossan, D. R. LaFosse et al., *Phys. Rev.*, **C44**(1991).
- [7] J. R. Hughes, D. B. Fossan, D. R. LaFosse et al., "Spectroscopy of ^{123}Cs ; Configuration Dependent Crossing Frequencies", Submit to *Phys. Rev.*, **C**.
- [8] I. Ragnarsson, in "Future Direction in Studies of Nuclei far from Stability", Edited by J. Hamilton et al., (North-Holland)1980, p. 367.

On the Difference of High Spin Band Structure Between I and Ce Isotopes

ZHANG JINGYE

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica of China, Lanzhou 730000)

ABSTRACT

It has been predicted that in nuclei with $Z=52-56$, there are many low-lying oblate and prolate rotational bands. Experimental investigation has been carrying out for the high spin band structure in serial I and Ce isotopes recently. It is found along with the prolate bands, there do exist oblate bands for proton $h_{11/2}$, $g_{9/2}$, $g_{7/2}$ and $d_{5/2}$, configurations in I. The band termination (non-collective oblate shape) was found in $^{119,121}\text{I}$ as well. All the prolate band structure was found in Ce. Further theoretical calculation was done with newly fitted Nilsson κ and μ parameters. Results show that the absolute values of shell energy and self-consistent pairing energy for oblate shape are always lager for I than for Ce. Besides, the band head oblate-prolate energy difference is much in favor of oblate shape for I than for Ce. All these results are related to the existence of an oblate 54 gap in proton single particle diagram.