

关于奇 A Tm 核 $1/2^+[411]$ 转动带的系统分析

钟纪泉 张学谦

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1995-02-16 收稿 1995-11-03 收修稿

摘 要

壳模型计算表明, $1/2^+[411]$ 出现于 ^{157}Tm 核的基态可能是由非轴对称形变造成的. 但是新近从 ^{157}Yb 衰变纲图给出的 ^{157}Tm 低激发谱中, 指认了一个建立在 $1/2^+[411]$ 带头上的基态转动带, 并认为该带的性质是轴对称的, 提取了该带的惯性参数与脱耦合参数. 通过对奇 A Tm 核 $1/2^+[411]$ 转动带的系统分析, 强调了在 ^{157}Tm 核中非轴对称 γ 自由度效应的重要性.

关键词 惯性参数, 脱耦合参数, 非轴对称形变.

^{157}Tm 是 $N=88$ 的核, 处于核的形状发生变化的过渡区, 因此研究其基态性质是人们所关注的课题. C. Ekstrom 等人^[1] 由实验给出 ^{157}Tm 核的基态自旋为 $I=1/2$. 其后, Alkrazov 等人^[2] 借用共振电离谱学方法, 研究了 $^{157-172}\text{Tm}$ 同位素链的基态性质. 通过 ^{157}Tm 与 ^{159}Tm 核的平均电荷半径的比较, 认为 ^{157}Tm 与 ^{159}Tm 两个核的形变无大的区别, 给出 ^{157}Tm 的四极形变参数的均方根 $\langle\beta^2\rangle^{1/2}=0.21$. 基于轴对称形变的壳模型计算不能解释 ^{157}Tm 核的基态自旋为 $I=1/2$ ^[5], 而且 $1/2^+[411]$ 轨道定域在一个较大的 γ 形变参数的 Nilsson Fermi 面上^[6], 因此, 有理由认为 $1/2^+[411]$ 出现于基态是由非轴对称形变造成的. 本文通过对奇 A Tm 核 $1/2^+[411]$ 转动带的系统分析, 认为在 ^{157}Tm 核中 γ 自由度的效应是不可忽略的, 并给出惯性参数 A 与脱耦合参数 a 的正确关系.

文献[3]从 ^{157}Tm 的低激发谱中指认能级 164.7、353.9、640.0keV 是 $1/2^+[411]$ 基态转动带成员, 利用绝热近似两参数转动公式^[4]:

$$E_{\text{rot}} = A[I(I+1) + a(-1)^{I+1/2}(I+1/2)\delta(K, 1/2)], \quad (1)$$

提取出惯性参数 $A=43$ 和脱耦合参数 $a=0$. 文献[7]汇集了 $A>157$ 的奇 A Tm 同位素链转动带的惯性参数 A 和脱耦合参数 a 的实验值, 加上 ^{157}Tm 的低激发谱数据^[3], 考虑到 $^{159}, ^{161}\text{Tm}$ 核素 $1/2^+[411]$ 带头能级非常靠近于基态, 可认为它们是近基态转动带, 所以有必要对这些奇 A Tm 同位素 $1/2^+[411]$ 带进行系统的分析和比较.

表1系统地给出了奇 A Tm 同位素的相邻偶偶 Er 与 Yb 同位素 2^+ 态能量^[8], 以及由简单公式 $E(2^+) = AI(I+1)$ 所提取的相邻偶偶核基态转动带的惯性参数 $A(\text{Er})$ 和 $A(\text{Yb})$.

表1 奇A Tm 同位素的相邻偶偶核 Er 与 Yb 同位素基态转动带的惯性参数

| 质量数 | 156 | 158 | 160 | 162 | 164 | 166 | 168 | 170 | 172 | 174 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Er (2 ⁺) (keV) | 344.50 | 192.10 | 125.70 | 102.20 | 91.39 | 80.57 | 79.80 | 79.30 | 76.30 | |
| Yb (2 ⁺) (keV) | | 357.90 | 243.00 | 166.30 | 123.30 | 102.40 | 87.73 | 84.26 | 78.74 | 76.47 |
| A (Er) (keV) | 57.42 | 30.01 | 20.88 | 17.03 | 15.23 | 13.43 | 13.30 | 13.22 | 12.72 | |
| A (Yb) (keV) | | 59.65 | 40.50 | 27.72 | 20.55 | 17.06 | 14.62 | 14.04 | 13.12 | 12.75 |

定义:

$$A' = A_{N-2,N} = (A_{N-2}(\text{Er}) + A_N(\text{Yb})) / 2. \quad (2)$$

由表1 能够得到奇A Tm 同位素的相邻偶偶核的平均惯性参数 A' . 将它们与奇A Tm 同位素链 $1/2^+[411]$ 转动带的惯性参数、脱耦合参数的实验值 A_{exp} 和 a_{exp} 一起列在表2 中. 奇A 核的惯性矩系统地大于相邻偶偶核基态带的惯性矩, 这一差别是由于奇粒子的存在, 特别是阻塞效应对于对关联的影响所致^[4].

假定 $K=1/2$ 带的惯性参数 A 与描述偶偶核的惯性参数 A' 相同, 则脱耦合参数 a 为^[4]

$$\begin{aligned} a &= -\langle v=1, v|j_+|v=1, \bar{v} \rangle \\ &= -\langle v|j_+|\bar{v} \rangle \\ &= \sum_{Nl} (-1)^{j-\frac{1}{2}} \left(j + \frac{1}{2} \right) \left\langle Nl, \Omega = \frac{1}{2} \left| v \right\rangle^2 \right. \\ &= (-1)^N \sum_N \left\{ \left\langle Nl, \Lambda=0, \Sigma = \frac{1}{2} \left| v \right\rangle^2 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + 2[l(l+1)]^{\frac{1}{2}} \left\langle Nl, \Lambda=0, \Sigma = \frac{1}{2} \left| v \right\rangle \right. \right. \\ &= \left. \left. \left\langle Nl, \Lambda=1, \Sigma = \frac{-1}{2} \left| v \right\rangle \right\} \right\}, \quad (3) \end{aligned}$$

其中, v 表示 $\Omega=1/2$ 的单粒子态. 对奇Z 稀土区核的 $1/2^+[411]$ 带, 选 Nilsson 参数 $\epsilon_2=0.3$, $-v_{15}=0.127$ 以及 $-v_{17}=0.0382$, 文献[4] 给出 $a_{\text{cal}}=-0.9$. 文献[7] 应用不同 Nilsson 参数, 对于 $A=154, 164, 178$ 给出 a_{cal} 为 $-0.97, -0.93, -1.07$, 非常接近 -0.9 . 由于奇粒子的存在, 会引起惯性矩有一个增量, 因此, $K=1/2$ 转动带的脱耦合参数 a 将包含一个附加因子 A/A' ^[4]

$$a'_{\text{cal}} = a_{\text{cal}}(A/A'), \quad (4)$$

计算中取 $A=A_{\text{exp}}$, $a_{\text{cal}}=-0.9$, 得到的奇A Tm 同位素链的脱耦合参数 a'_{cal} , 也同样列在表2 中.

表 2 奇 A Tm 同位素脱耦合参数的实验值 $a_{\text{exp}}^{[7]}$ 与理论估计值 a'_{cal}

| 质量数 | 157 | 159 | 161 | 163 | 165 | 167 | 169 | 171 | 173 |
|------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A_{exp} (keV) | 43 ^(a) | 221 | 17.0 | 15.3 | 13.7 | 124 | 124 | 120 | 120 |
| A (keV) | 58.53 | 35.25 | 24.30 | 18.79 | 16.15 | 14.02 | 13.67 | 13.17 | 12.74 |
| a_{exp} | 0 ^(a) | -0.59 | -0.69 | -0.71 | -0.72 | -0.72 | -0.77 | -0.86 | -0.93 |
| a'_{cal} | -0.66 | -0.55 | -0.63 | -0.73 | -0.76 | -0.80 | -0.82 | -0.82 | -0.85 |

(a) 见文献[3].

图 1 给出了奇 A Tm 同位素链 $1/2^+[411]$ 带的脱耦合参数 a 随质量数的变化关系, 由图的系统性可看出对于 $A > 157$ 的奇 A Tm 同位素链, a_{exp} 与 a'_{cal} 符合得很好. 对于 ^{157}Tm 核, 由文献[3]给出的 $A=43$ 可得到 $a'_{\text{cal}} = -0.66$, 这与文献[3]定出的 $a_{\text{exp}} = 0$ 相差很大, 我们认为这种不自洽性是由于忽略非轴对称 γ 自由度效应而导致的(此文正式发表前, 我们见到文献[3]的作者和其他人一起也在考虑 ^{157}Tm 等为三轴形变的情况下进行的理论计算^[10]). 关于这个 γ 自由度的大小, 我们将另文进行讨论^[9], 更进一步的实验研究和理论计算是需要的.

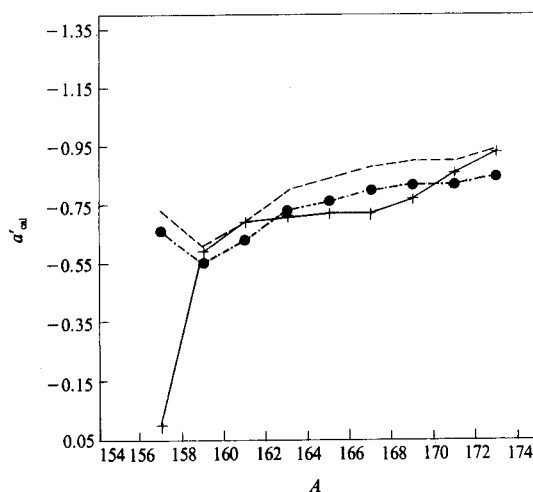


图 1 奇 A Tm 同位素链脱耦合参数随质量数的变化关系
 \times 为实验值; --- 与 - - - 为计算值; - · - $a_{\text{cal}} = -0.9$,
 - - - $a_{\text{cal}} = -0.99$.

参 考 文 献

- [1] C. Ekstrom *et al.*, *Z. Phys.*, **A316**(1984)239.
- [2] G. D. Alkrazov *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A477**(1988)37.
- [3] Xu Shuwei *et al.*, *Phys. Rev.*, **C50**(1994)3147.
- [4] A. Bohr, R. Mottelson, *Nuclear Structure*, **2**(1975)250; 308.
- [5] C. Ekstrom *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A170**(1971)649.
- [6] S. L. Larson *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A307**(1978)189.
- [7] A. K. Jain *et al.*, *Rev. Mod. Phys.*, **62**(1990)393; P. Tinsty *et al.*, *Z. Phys.*, **A341**(1992)435.
- [8] C. M. Lederer *et al.*, *Table of Isotopes Seventh Edition*.
- [9] 钟纪泉等, *高能物理与核物理*, **21**(1997). 待发表.
- [10] 邢正等, *高能物理与核物理*, **20**(1996)85.

Systematic Analysis of Ground-Rotational Bands in Odd- A Tm Nuclides

Zhong Jiquan Zhang Xueqian

(Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Received 3 November 1995

Abstract

The nuclear spin of ground state in ^{157}Tm is $I=1/2$. This spin may be explained by a non-axisymmetric quadrupole deformation γ of ^{157}Tm . The recent experiment of EC/ β^+ decay of ^{157}Yb does not support this explanation. However, the non-axisymmetric property of $1/2^+$ [411] band in ^{157}Tm is confirmed by our systematic analysis of $1/2^+$ [411] rotational bands in odd- A Tm nuclides.

Key words inertia parameter, decoupling parameter, non-axisymmetric deformation.