

文章编号: 1007-4627(2003)01-0030-04

## $^{160}\text{Tb}$ $\beta^-$ 衰变纲图研究\*

孙普男

(黑龙江大学物理系, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:** 对由 $^{160}\text{Tb}$ 的 $\beta^-$ 衰变而产生的 $\gamma$ 射线利用GeLi和HpGe探测器进行了单谱和 $\gamma$ - $\gamma$ 符合谱的测量. 根据单谱和 $\gamma$ - $\gamma$ 符合谱的测量结果给出了 $^{160}\text{Tb}$ 的 $\beta^-$ 衰变纲图. 并用绝热对称转动模型对 $^{160}\text{Dy}$ 中转动带与振动带的耦合参数 $Z_\gamma$ 值进行了计算, 得出从振动带到转动带的 $\gamma$ 跃迁几率 $B(E2)$ 值之比不能通过唯一的 $Z_\gamma$ 值来描述.

**关键词:**  $^{160}\text{Tb}/\beta^-$ 衰变; 衰变纲图; 带耦合参数

**中图分类号:** O571      **文献标识码:** A

### 1 引言

远离双幻核( $150 < A < 190$ ,  $A > 220$ )的核能级结构的研究是集体模型研究的重要依据.  $^{160}\text{Dy}$ 是该区的一个偶偶核. 很多人通过 $^{160}\text{Tb}$ 的 $\beta^-$ 衰变对 $^{160}\text{Dy}$ 的低激发态的能级结构进行了研究<sup>[1-8]</sup>, 但他们之间却存在着很多分歧. 在最新的文献<sup>[1]</sup>中,  $^{160}\text{Tb}$ 的 $\beta^-$ 衰变给出两条 $\gamma$ 射线 239.7 和 707.6 keV, 并且这两条射线对应着一个能级 581.0 keV. 该结果只在文献<sup>[2]</sup>中给出, 而其他各家都没有这一结果的报道, 这就需要我们进一步的验证. 再者, 关于在 $^{160}\text{Dy}$ 中转动带与振动带耦合参数 $Z_\gamma$ 值, 各家也有很大争论. Chattopudhyay等<sup>[2]</sup>、Ludington等<sup>[3]</sup>、Dasmahapatra<sup>[4]</sup>和 Keller等<sup>[5]</sup>指出约化几率 $B(E2)$ 的比值不可以通过唯一的 $Z_\gamma$ 值描述. 而 McAdams等<sup>[6]</sup>、Jaklevic等<sup>[7]</sup>和 Guther等<sup>[8]</sup>指出约化几率 $B(E2)$ 的比值可以通过唯一的 $Z_\gamma$ 值描述. 本工作的目的就是要在实验条件有所改进的情况下, 通过 $^{160}\text{Tb}$ 的 $\beta^-$ 衰变, 对上述问题及新发现的问题做进一步的研究.

### 2 实验

本工作是在吉林大学核物理实验室完成的, 实验使用的放射源是由中国原子能科学研究院通过对 $\text{Tb}_2\text{O}_7$ 的辐照提供的. 收到源后, 把成品源(5 mCi)溶于硝酸, 然后根据不同的测量需要, 用滴定法制

成几种不同强度的平面源.

单谱测量 低能区( $< 525$  keV)用平面锗探测器, 体积为 $10\text{ cm}^2 \times 1.5\text{ cm}$ . 对 $^{57}\text{Co}$ 的122 keV峰的分辨率(FWTH)为540 eV, 源距探头30 cm, 测量时间630 000 s, 为了消除堆积和减小加和效应, 计数率为1 800/s. 高能区( $> 525$  keV)用同轴Ge(Li)探测器, 体积为 $105\text{ cm}^3$ , 对 $^{60}\text{Co}$ 的1 332.5 keV峰的分辨率为2.0 keV, 源相距探头30 cm, 测量时间730 000 s. 为了便于高能区的弱峰测量和消除较强射线的加和效应, 在测量过程中, 源与探头间加了0.5 cm厚的铜和1.0 cm厚的铅吸收片, 计数率为1 800/s. 为了判断和鉴别单谱中出现的新谱线的真假和来源, 进行了半个半衰期和两个半衰期的跟踪测量. 符合谱的测量系统采取快慢符合电路, 系统的分辨时间为25 ns. 为了消除探头之间的散射影响, 同轴Ge(Li)与同轴HpGe探头成 $90^\circ$ 角, 并在其中加了一块铅板. 同轴HpGe用于开门, 体积为 $24.2\text{ cm}^2 \times 4.69\text{ cm} = 114\text{ cm}^3$ , 对 $^{60}\text{Co}$ 的1 332.5 keV峰的分辨率为1.8 keV. 为了提高符合效率, 源与探头之间的距离为10 cm. 单谱计数率在4 000/s以下.

能量和效率刻度是利用 $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ 和 $^{109}\text{Cd}$ 标准源作为标准. 能量刻度用二次曲线以最小二乘法拟合, 效率刻度用四次对数曲线以最小二乘法拟

收稿日期: 2002-06-05; 修改日期: 2002-11-07

\* 基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(A9808)

作者简介: 孙普男(1963-), 男(汉族), 吉林梨树人, 硕士, 副教授, 从事核谱分析和核技术应用研究.



一个修正因子  $f(Z_\gamma, I_i, I_f)$ . 并有  $B(E2; i \rightarrow f) = B(E2; i \rightarrow f)_0 \times f(Z_\gamma, I_i, I_f)$ , 而且, 在  $B(E2; i \rightarrow f)$  值相比的情况下,  $f(Z_\gamma, I_i, I_f)$  的比变为一个简单的表达式(见表 1 中的“factor”列), 其中  $Z_\gamma$  称为带参数, 可从实验的  $B(E2; i \rightarrow f)$  之比中求出. 如果该理论值和实验值相符合, 那么  $Z_\gamma$  应为一个唯一的值. 把该理论应用到  $^{166}\text{Er}^{[14]}$  和  $^{168}\text{Er}^{[15]}$  核能级结构, 实验值得到了满意的解释, 并得到了唯一的  $Z_\gamma$  值.

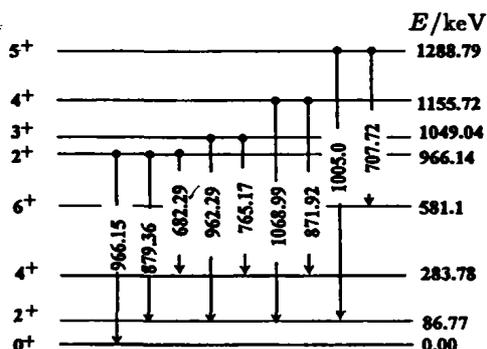


图 2  $^{160}\text{Dy}$  能级的转动带和  $\gamma$  振动带

很多人应用该理论对  $^{160}\text{Dy}$  的能级结构进行了研究, 但争议较大. 本文通过  $^{160}\text{Tb}$  的  $\beta^-$  衰变测得的各  $\gamma$  射线的能量、强度, 用公式(1)求出了从  $\gamma$  振动带 ( $K_i=2$ )到转动带 ( $K_f=0$ )的  $\gamma$  跃迁几率  $B(E2)$  值

之比:

$$\frac{B(E2; I_i K_i \rightarrow I_f K_f)}{B(E2; I_i K_i \rightarrow I_f K_f)} = \frac{I_\gamma(I_i \rightarrow I_f)}{I_\gamma(I_i \rightarrow I_f)} \times \left[ \frac{E_\gamma(I_i \rightarrow I_f)}{E_\gamma(I_i \rightarrow I_f)} \right]^5, \quad (1)$$

式中,  $K_i=0$  表示转动带;  $I_i$  和  $I_f$  表示转动带的能级, 用每个能级所对应的角动量表示(取值为 0, 2, 4 和 6);  $K_i=2$  表示  $\gamma$  振动带;  $I_i$  表示  $\gamma$  振动带的能级, 用每个能级所对应的角动量表示(取值为 2, 3, 4 和 5);  $I_\gamma(I_i \rightarrow I_f)$  为两带之间对应跃迁的  $\gamma$  射线强度;  $E_\gamma(I_i \rightarrow I_f)$  为两带之间对应跃迁的  $\gamma$  射线能量.  $B(E2)$  值之比的计算结果见表 1 中的“实验值”列, 其中对混合多级跃迁 ( $E2+M1$ ) 的 765, 962 和 879 keV 射线的  $B(E2)$  值用公式(2)进行了  $\delta$  修正,  $\delta$  值引自文献[1],

$$B(E2) = \frac{\delta^2}{1 + \delta^2} \times B(M1 + E2). \quad (2)$$

然后再根据  $B(E2)$  值之比和表 1 中“factor”列所对应的表达式求出  $Z_\gamma$  值.

从表中可以得出,  $Z_\gamma$  值在误差范围内不是唯一值. 也就是说, 该理论不能描述该核. 原因可能是该核同强形变核  $^{166}\text{Er}$  和  $^{168}\text{Er}$  不同, 是弱形变核.

表 1 用绝热对称转动模型计算的从  $\gamma$  振动带到转动带的  $\gamma$  跃迁几率  $B(E2)$  值之比和  $Z_\gamma$  值\*

$\frac{I_i K_i \rightarrow I_f K_f}{I_i K_i \rightarrow I_f K_f}$	$\frac{E(I_i \rightarrow I_f)}{E(I_i \rightarrow I_f)}$	$\frac{B(E2; I_i K_i \rightarrow I_f K_f)}{B(E2; I_i K_i \rightarrow I_f K_f)}$		Correction factor <sup>[13]</sup>	$Z_\gamma \times 10^3$
		实验值 <sup>a</sup>	理论值 <sup>b</sup>		
$\frac{22 \rightarrow 00}{22 \rightarrow 20}$	$\frac{966}{879}$	0.516(12)	0.699	$\left(\frac{1-Z_\gamma}{1+2Z_\gamma}\right)^2$	51.8(41)
$\frac{22 \rightarrow 00}{22 \rightarrow 40}$	$\frac{966}{682}$	7.57(21)	13.9	$\left(\frac{1-Z_\gamma}{1+9Z_\gamma}\right)^2$	34.3(17)
$\frac{22 \rightarrow 20}{22 \rightarrow 40}$	$\frac{879}{682}$	14.7(21)	19.9	$\left(\frac{1+2Z_\gamma}{1+9Z_\gamma}\right)^2$	24.6(29)
$\frac{32 \rightarrow 20}{32 \rightarrow 40}$	$\frac{962}{765}$	1.45(3)	2.50	$\left(\frac{1-Z_\gamma}{1+6Z_\gamma}\right)^2$	42.7(17)
$\frac{42 \rightarrow 20}{42 \rightarrow 40}$	$\frac{1069}{872}$	0.171(9)	0.34	$\left(\frac{1-5Z_\gamma}{1+2Z_\gamma}\right)^2$	45.3(26)
$\frac{52 \rightarrow 40}{52 \rightarrow 60}$	$\frac{1005}{707}$	0.63(18)	1.75	$\left(\frac{1-3Z_\gamma}{1+8Z_\gamma}\right)^2$	51(20)

\* a 根据本实验  $\gamma$  射线的能量(强度)的计算值, b 绝热对称转动模型的理论计算值<sup>[13]</sup>.

致谢 作者感谢吉林大学物理系核物理教研室有关人员在实验中所给予的帮助。

### 参 考 文 献:

- [1] Reich C W. Nuclear Data Sheets for  $A = 160^*$  [J]. Nuclear Data Sheets, 1996, **78**(4): 547.
- [2] Chattopadhyay R K, Chatterjee J M, Sethi B. Weak Transition in  $^{160}\text{Tb}$  Decay[J]. IL Nuovo Cimento, 1984, **82A**(4): 403.
- [3] Ludington M A, Reidy J J, Wiedenbeck M L. The Decay of  $^{160}\text{Tb}$  to Level  $^{160}\text{Dy}$ [J]. Nucl Phys, 1968, **A119**: 398.
- [4] Dasmahapatra B K. Gamma Vibrational Band in  $^{160}\text{Dy}$ [J]. J Phys G, Nucl Phys, 1976, **2**(4): 233.
- [5] Keller G E, Zaganjer E F. The Mixing of the Gamma Vibrational and Dround State Bands in  $^{160}\text{Dy}$ [J]. Nucl Phys, 1970, **A147**: 527.
- [6] Mcadams R E, Otteson O H. The Mixing Parameter for the Mixing of Gamma-vibrational[J]. Z Phys, 1972, **250**: 359.
- [7] Jaklevic J M, Iwata N J. Precision Measurement of Gamma-ray Intensities of  $^{160}\text{Tb}$ [J]. Nucl Phys, 1967, **A99**: 83.
- [8] Gunther C, Ryde H, Krien K. Mixing of Rotational Bands in  $^{160}\text{Dy}$ [J]. Nucl Phys, 1968, **A122**: 401.
- [9] Ewan G T, Graham R L, Geiger J S. Negative Parity Levels in the Even-even Nucleus  $^{160}\text{Dy}$ [J]. Nucl Phys, 1961, **22**: 610.
- [10] Lederers C M, Shirley V S. Table of Isotopes[M]. New York, Seventh Edition. 1978, 132.
- [11] Band I M, Irzhaskov M B. Tables of Internal Conversion Coefficients[J]. Atomic and Nuclear Data Tables, 1978, **21**(2-3): 274.
- [12] Grigorev E P, Gromov K Y, Zhelev T A, *et al.* The Decay of  $^{160}\text{Ho}$  to Level of  $^{160}\text{Dy}$ [J]. Bull Acad Sci USSR Phys, 1970, **33**: 585.
- [13] Lipas P O. Perturbation Corrections to Energies of Collective States in Deformed Even Nuclei[J]. Nucl Phys, 1962, **39**: 312.
- [14] Ewan G T, Andersson G I. The Mixing of the Gamma Vibrational and Dround State Bands in  $^{166}\text{Er}$ [J]. Proc Roy Soc Edinburgh, 1972, **A70**: 155.
- [15] Fenzl M, Imazato J. Mixing of Rotational Bands in  $^{168}\text{Er}$ [J]. Z Phys, 1974, **266**: 135.

## Studies of $^{160}\text{Tb}$ $\beta^-$ Decay Scheme\*

SUN Pu-nan

(Department of Physics of Heilongjiang University, Haerbin 150080, China)

**Abstract:** The  $\gamma$ -transitions in  $^{160}\text{Tb}$  decay has been studied by  $\gamma$ -ray spectroscopy and  $\gamma$ - $\gamma$  coincidence measurements with high-efficiency Ge(Li) and HpGe detectors. The  $\beta^-$  decay scheme of  $^{160}\text{Tb}$  was proposed according to the results of  $\gamma$ -ray spectroscopy and  $\gamma$ - $\gamma$  coincidence measurement. The band-mixing parameter  $Z_\gamma$  for  $^{160}\text{Dy}$  is determined and it is observed that the measured  $\gamma$ -ray branching ratios do not lead to a unique value of  $Z_\gamma$  for  $^{160}\text{Dy}$ .

**Key words:**  $^{160}\text{Tb}$  /  $\beta^-$  Decay; decay scheme; band-mixing parameter

\* Foundation item: Nature Science Foundation of Heilongjiang (A9808)