

$A \approx 150$ 区超形变带跃迁能量中振荡起伏的扣除和自旋指定*

李中华 吴崇试¹⁾

(北京大学物理系 北京 100871)

摘要 在用 ab 公式指定 $A \approx 150$ 区超形变带的自旋值时, 考虑了跃迁能量中存在着振荡起伏的问题. 讨论了几个典型超形变带的自旋指定.

关键词 超形变带 自旋指定 ab 公式 振荡起伏

迄今为止, 在 $A \approx 150$ 区已发现了 90 条左右超形变带^[1,2]. 这些超形变带的自旋值在实验上还没有测出. 与 $A \approx 190$ 区的超形变带相比, $A \approx 150$ 区超形变带的跃迁能量普遍较高, 绝大多数超形变带的跃迁能量都在 600keV 以上, 甚至有一些带的跃迁能量几乎全部超过 1MeV, 这给拟合跃迁能量指定自旋值带来了较大困难. 因为我们知道, 随着跃迁能量的增高, 拟合的结果对于自旋值的指定越来越不敏感. 而且, 在 $A \approx 150$ 区的超形变带中, 跃迁能量还比较普遍地存在着振荡起伏的现象, 起伏的幅度还相当大. 这样, 不论采用何种方案, 如不恰当地考虑这种振荡起伏的效应, 就不可避免地会产生较大的误差本底, 影响拟合效果. 因此, 研究 $A \approx 150$ 区超形变带能谱的特点, 在理论上指定这些超形变带的自旋值, 是很有意义的.

对于超形变带的自旋指定问题, 已经有了不少理论方案^[3-8]. 但是, 这些方案多数只应用在 $A \approx 190$ 区的超形变带上, 得到的结果也基本一致. 特别是, 现在已经从实验上测得了几个超形变带的自旋值, 证实了理论指定值的正确性. 和多数理论方案不同, 文献 [9, 10] 中针对跃迁能量直接表现出的特点, 考虑了 $\Delta I = 1$ 颤动和振荡起伏问题, 在 ab 公式拟合的基础上, 提出了改进方法, 取得了较满意的结果. 本文将继续采用这种改进的 ab 拟合方法, 讨论 $A \approx 150$ 区超形变带的自旋指定问题. 这里需要提到, 就 $A \approx 150$ 区而言, 现有的自旋指定的系统工作^[11,12]并不多.

在文献 [9, 10] 中, 提出了将跃迁能量划分为两部分,

$$E_{\gamma}(I) = \overline{E_{\gamma}}(I) + f_{\gamma}^{\text{osc}}(I), \quad (1)$$

1998-11-24收稿

* 国家自然科学基金资助项目(19677203)

1) 中国科学院理论物理所客座

并采用适当的方法(详见引文,不再赘述)提取出 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 值. 和文献[9, 10]不同,在本文中,考虑到 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 具有正负相间的特点,选用了两种新的取“极小化”的方案. 第一种方案是取 $\sum |f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I+2) + f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)|$ 的极小值;第二种是取 $\sum |f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)|$ 的极小值.

实际计算表明,对于 $A \approx 150$ 区的大多数超形变带,这两种方法定出的 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 值相差不大,指定的自旋值没有差别. 图 1 给出了几个较典型的超形变带 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 值的结果. 可以看到,对于不同的超形变带,这两种方法定出的 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 值很接近. 因此,在以下的讨论中,均采用第一种方案的计算结果. 由图中还可以看到,不同超形变带的 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 值相差较大. 例如 $^{151}\text{Tb}(1, 2)$, $^{150}\text{Tb}(1)$ 和 $^{152}\text{Dy}(1)$ 的 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 值都在约 1keV 以内. 但是 $^{149}\text{Gd}(3)$ 和 $^{150}\text{Gd}(2)$ 的 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 值最大可达到约 5keV. 因此,对于这两个带来说,单纯的 ab 公式拟合和扣除振荡起伏部分之后再行拟合可能会得到不同的结果. 实际计算的结果也的确如此.

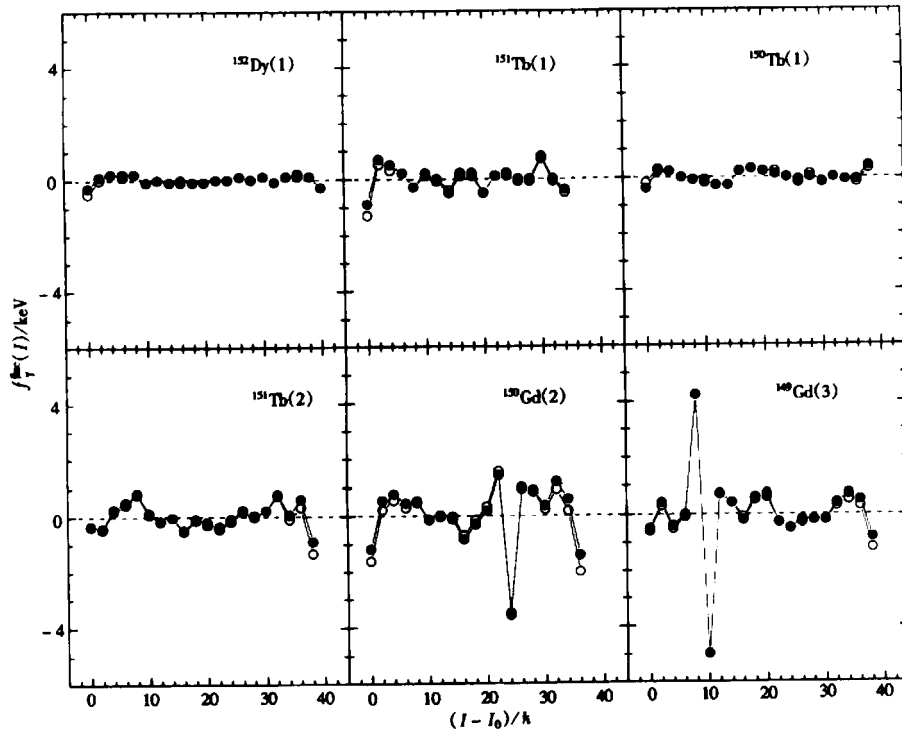


图 1 $A \approx 150$ 区几个超形变带的 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 值(定义见正文(1)式)

○和●分别表示第一种方案和第二种方案提取的 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 值.

我们用改进的 ab 公式拟合方法计算了 $A \approx 150$ 区的全部超形变带. 表 1 给出了本文前面提到的几个超形变带和 $^{151}\text{Dy}(5)$ 的计算结果. 正如所预料的那样,由于 $^{151}\text{Tb}(1, 2)$, $^{150}\text{Tb}(1)$ 和 $^{152}\text{Dy}(1)$ 的 $f_{\gamma}^{\text{fluc}}(I)$ 值不大,因此,即使在扣除了振荡起伏部分后,指定的自旋值结果并没有改变,只是拟合参数略有变化. 但是对于超形变带 $^{149}\text{Gd}(3)$ 和 $^{151}\text{Dy}(5)$ 而言,若不扣除振荡起伏部分,用 ab 公式拟合跃迁能量 $E_{\gamma}(I)$ 并不能唯一地指定自旋值. 图 2 是 $^{149}\text{Gd}(3)$ 和 $^{151}\text{Dy}(5)$ 的拟合误差随 I_0 指定值变化的关系图,在一定的 I_0 取值范围内,拟合

表 1 $A \approx 150$ 区几个超形变带的自旋值指定

超形变带	$E_\gamma(I+2 \rightarrow I)$ /keV	指定的自旋值 I_0/h			
		ab 拟合	改进的 ab 拟合	文献[13]	文献[1]
$^{152}\text{Dy}(1)$	602.4	25	25	25	24
$^{151}\text{Tb}(2)$	602.1	51/2	51/2	51/2	~49/2
$^{151}\text{Tb}(1)$	726.5	69/2, 71/2	69/2, 71/2	73/2	~57/2
$^{150}\text{Gd}(2)$	727.9	34, 35	34, 35	36	~29
$^{149}\text{Gd}(3)$	649.8	49/2, 51/2	49/2		~57/2
$^{150}\text{Tb}(1)$	597.2	22	22		~24
$^{151}\text{Dy}(5)$	959.3	69/2 \pm 2	67/2		

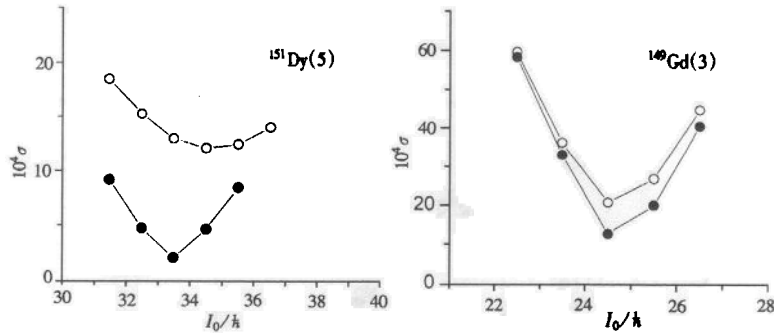


图 2 $^{151}\text{Dy}(5)$ 和 $^{149}\text{Gd}(3)$ 的拟合误差 σ 随 I_0 指定值变化图

$$\sigma = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{E_\gamma^{\text{cal}}(I_i) - E_\gamma^{\text{exp}}(I_i)}{E_\gamma^{\text{exp}}(I_i)} \right|^2 \right]^{1/2}$$

○和●分别代表拟合跃迁能量 $E_\gamma(I)$ 和 $\overline{E}_\gamma(I)$ 。

误差相差并不大。若我们扣除了跃迁能量中的振荡起伏部分，再去拟合光滑后的跃迁能量 $\overline{E}_\gamma(I)$ ，则能唯一定出超形变带 $^{149}\text{Gd}(3)$ 和 $^{151}\text{Dy}(5)$ 的 I_0 值，它们分别是 49/2 和 67/2。在 $A \approx 150$ 区的超形变带中还可以找到不少类似的例子，它们往往不能由单纯的 ab 公式唯一地定出自旋值。但在扣除了跃迁能量中的振荡起伏部分后，拟合的精度能有很大提高，限于篇幅，这里不一一列举。对于 $A \approx 150$ 区的超形变带，由于跃迁能量普遍较高，采用 ab 拟合能有这样的结果是很令人满意的。事实上，超形变带的最低跃迁能量越小，自旋指定就越准确。

本文讨论的这几个超形变带中，有 4 个已在文献 [13] 中讨论过。但是，由于采用了新的实验数据，并对全部跃迁能量进行了拟合，所以定出的超形变带的自旋值和文献 [13] 中可能有所不同。对于 $^{152}\text{Dy}(1)$ 和 $^{151}\text{Tb}(2)$ ，不论用 ab 拟合或是改进的 ab 拟合，定出的自旋值与文献 [13] 中一样。对于超形变带 $^{151}\text{Tb}(1)$ 和 $^{150}\text{Gd}(2)$ ，若我们拟合与文献 [13] 中相同条数的跃迁能量，得到的结果也还是一样的， I_0 分别为 73/2 和 36。但如果我们拟合全部的跃迁能量，只能定出 $^{151}\text{Tb}(1)$ 的 $I_0 = 69/2$ 或 $71/2$ ， $^{150}\text{Gd}(2)$ 的 $I_0 = 34$ 或 35 。与文献 [1] 相比，除了 $^{151}\text{Tb}(2)$ 、 $^{152}\text{Dy}(1)$ 和 $^{150}\text{Tb}(1)$ 的 I_0 值只相差 1—2 外，其余的自旋指定值相差较大。

在文献 [1] 中, 上述超形变带的自旋值多是通过 Ragnarsson 提出的方案^[12]得到的. 这种方法得到的结果要依赖于参考带的自旋值, 具有一定的不确定性. 由于超形变带的能量较高, 从超形变态到正常形变态的跃迁很弱, 要确切地定出这种跃迁的初末态绝非易事, 这也正是实验上很难测出超形变带自旋值的原因. 因此, 希望能有更多的实验测量加以检验.

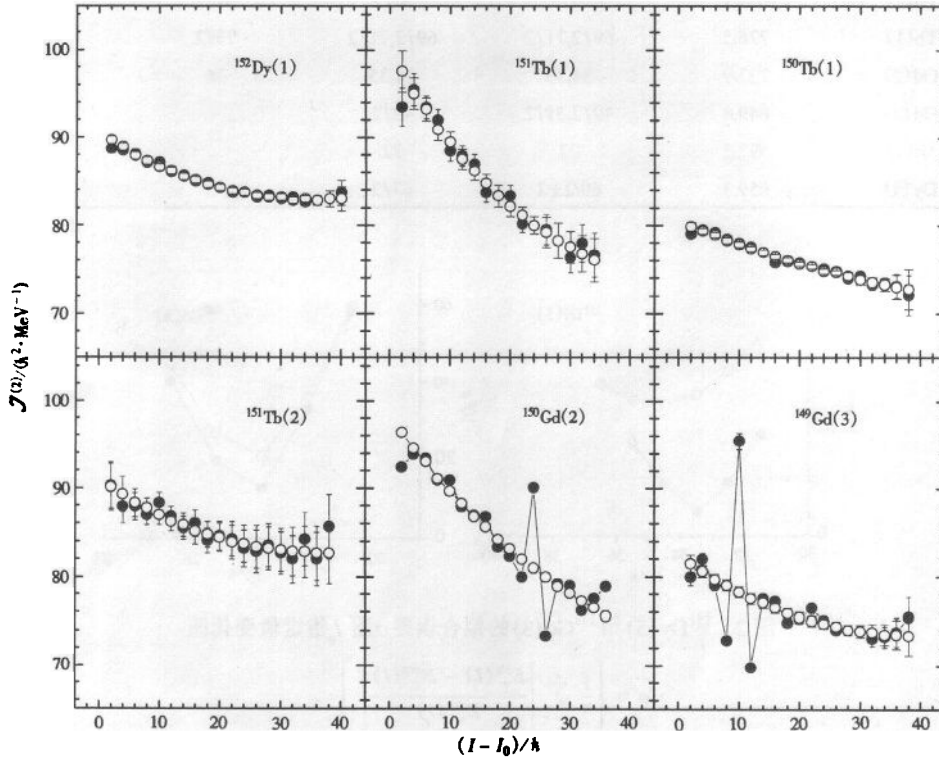


图 3 超形变带的第二类转动惯量

●和○分别表示由光滑化前和光滑后的跃迁能量导出的第二类转动惯量值.

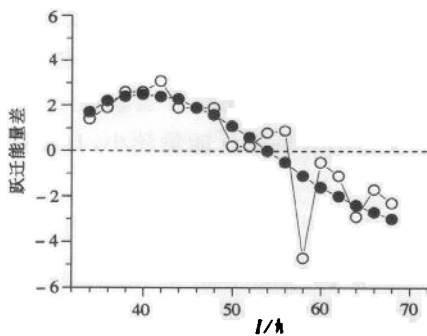


图 4 跃迁能量的光滑化改善了¹⁵⁰Gd(2)与¹⁵¹Tb(1)之间的全同性关系

○和●分别表示光滑化前后两带的跃迁能量差 (定义见正文).

在研究超形变带的性质时, 通常要讨论第二类转动惯量 $J^{(2)}$. 图 3 是从跃迁能量 $E_\gamma(I)$ 和光滑后的跃迁能量 $\overline{E}_\gamma(I)$ 中提取的第二类转动惯量图. 从图中可以看出, 这种将跃迁能量光滑化的作法实际上相当于对第二类转动惯量作光滑逼近.

文献 [14] 中认为 ¹⁵⁰Gd(2) 与 ¹⁵¹Tb(1) 是一对全同带. 图 4 分别给出了 ¹⁵⁰Gd(2) 与 ¹⁵¹Tb(1) 之间跃迁能量 $E_\gamma(I)$ 及光滑后的跃迁能量 $\overline{E}_\gamma(I)$ 的差值. 其中

$$\delta E_\gamma(I) = E_\gamma(^{150}\text{Gd}(2), I) - E_\gamma(^{151}\text{Tb}(1), I + 1/2), \quad (2)$$

$$\overline{\delta E}_\gamma(I) = \overline{E}_\gamma(^{150}\text{Gd}(2), I) - \overline{E}_\gamma(^{151}\text{Tb}(1), I + 1/2), \quad (3)$$

在整个区间内, $\delta E_{\gamma}(I)$ 除了在个别处达到约 5keV 外, 其余的值都在约 3keV 之内, 跃迁能量几乎是全同的. 而在扣除了这两个超形变带的振荡起伏部分后, $^{150}\text{Gd}(2)$ 与 $^{151}\text{Tb}(1)$ 的全同性得到了改善.

综上所述, 在用 ab 公式拟合指定 $A \approx 150$ 区超形变带自旋值时, 若消除了跃迁能量中振荡起伏的影响, 对于自旋指定有一定的改善作用. 这里需要指出, 尽管现在并没有任何理论根据可以说明本文提取 $f_{\gamma}^{\text{thc}}(I)$ 的极小值是正确的选择, 但是, 从实际效果看, 至少就本文讨论的这几个超形变带而言, 这里提取的 $f_{\gamma}^{\text{thc}}(I)$ 值和文献 [15] 中导出的 $E_2^{(1)}(I)$ 值是一致的, 相差大部分在 0.1keV 之内. 这也许可以看成是对本方案的合理性的支持. 在 $A \approx 150$ 区, 超形变带跃迁能量表现出的大幅度起伏, 既可能来源于 $\Delta I = 4$ 分岔^[16], 也可能说明在这些带中存在较强烈的带交叉, 或者存在单粒子性与集体性的竞争. 由于 $A \approx 150$ 区的超形变带中, 测得的跃迁能量较高, 因此, 对关联的影响较弱, 单粒子激发的影响可能不容忽视. 本方案也还有不尽如人意之处, 这就是在应用到具体超形变带时, 有时也不能作出唯一的自旋指定. 造成这一状况的主要原因, 当然还是由于 $A \approx 150$ 区中测得的跃迁能量较高, 对自旋指定的敏感性降低.

对 $A \approx 150$ 区各超形变带的具体讨论, 将另文发表.

参考文献 (References)

- 1 Singh B et al. Table of Superdeformed Nuclear Bands and Fission Isomers(1997), WWW Edition
- 2 Byrski Th, Stezowski O, Zuber K et al. Phys. Rev., 1998, C57:1151
- 3 Becker A, Henry E A, Kuhnert A et al. Phys. Rev., 1992, C46:889
- 4 XU F, HU J. Phys. Rev., 1994, C49:1449
- 5 Piepenbring R, Protasov K V. Z. Phys., 1993, A345:7
- 6 Draper J E et al. Phys. Rev., 1990, C42:R1791
- 7 WU C S, ZENG J Y, XING Z et al. Phys. Rev., 1992, C45:261
- 8 XU FuRong, HU JiMin, ZHENG ChunKai. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1996, 20:554
(许甫荣, 胡济民, 郑春开. 高能物理与核物理, 1996, 20:554)
- 9 WU ChongShi. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1998, 22:71
(吴崇试. 高能物理与核物理, 1998, 22:71)
- 10 WU ChongShi, LI ZhongHua. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1999, 23:797
(吴崇试, 李中华. 高能物理与核物理, 1999, 23:797)
- 11 LIU Y X. Phys. Rev., 1998, C58:237
- 12 Ragnarsson I. Nucl. Phys., 1993, A557:167c
- 13 ZENG J Y, MENG J, WU C S et al. Phys. Rev., 1991, C44:R1745
- 14 Byrski T et al. Phys. Rev. Lett., 1990, 64:1650
- 15 Hara K, Lalazissis G A. Phys. Rev., 1997, C55:1789
- 16 Flibotte S, Andrews H R, Ball G C et al. Phys. Rev. Lett., 1993, 71:4299

**Elimination of the Fluctuation in the Observed Transition
Energies and Spin Assignments of the Superdeformed
Bands in $A \approx 150$ Region**

LI ZhongHua WU ChongShi¹⁾

(Department of physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract The spins of superdeformed bands in $A \approx 150$ region are assigned by the ab fitting provided the fluctuation are removed from the observed transition energies. Some typical superdeformed bands are discussed. For some superdeformed bands, the precision of spin assignments by the ab fitting could be improved.

Key words superdeformed band, spin assignment, ab expression, fluctuation

Received 24 November 1998

* Project (19677203) Supported by National Natural Science Foundation of China

1) Guest Researcher of Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences