

# 核运动中的某些集体观察量

张 敬 业<sup>1)</sup>

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1993 年 6 月 22 日收到

## 摘 要

在低能核结构研究中,电四极跃迁的  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值和基态带的  $4_1^+$  态与  $2_1^+$  态能量比值  $R$  常被用来衡量核的集体运动属性. 本文通过标准的位能面计算,系统地探讨了这些量与核形变参数间的关系. 指出  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值主要取决于核的平衡(静态)形变,目前的 Nilsson-Strutinsky-BCS 方法可以良好地求得从  $Z = 30$  到铀系区偶-偶核的合理的形变值,而能量比值  $R$  则反映的是位能面的整体结构,例如硬度及非谐和性等.

**关键词** 电四极跃迁,集体运动,位能面,形变.

众所周知,单粒子电四极跃迁的  $B(E2)$  值是以 Weisskopf 单位为其典型大小的,集体运动态之间的  $B(E2)$  值则可高达数十至数百个 Weisskopf 单位,另一方面偶-偶核基态带的  $4_1^+$  态和  $2_1^+$  态能量比  $R$  值则常用来划分不同种类的集体运动: 例如  $R = 2$  对应于集体振动,而  $R = 3.3$ ,则是典型的刚体转动. 因此,根据已知的  $R$  值和  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值,系统地研究它们与理论位能面计算所得的形变参数之间的关系,无疑会有助于理解这两个观察量的物理内涵.

图 1 是实验  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值<sup>[1]</sup>与  $Z$  的关系图. 从图中除了可以看出在形变区  $B(E2)$  较大,在满壳区较小以及整体上随  $Z$  增大而增大的大致趋势外,两者并不存在简单的关系. 已知  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值是与电四矩  $Q_0$  平方成比例的,而<sup>[2]</sup>

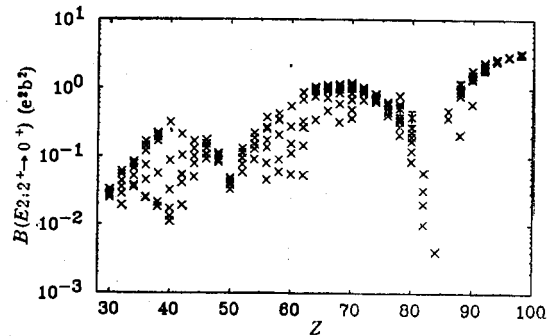


图 1 实验  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值<sup>[1]</sup>与  $Z$  的关系图

$$Q_0 = \left( \frac{4 \times 1.44}{5} \right) (\epsilon_2 Z A^{2/3}) \left[ 1 + \frac{1}{2} \epsilon_2 - \epsilon_4 + \frac{25}{33} \cdot \frac{\epsilon_4^2}{\epsilon_2} \right], \quad (1)$$

1) CCAST 成员.

其中已把通常的  $R_0^2$  表述成  $1.44 \times A^{2/3}$ ,  $\epsilon_2$  和  $\epsilon_4$  分别为四极与十六极形变参数。现在的问题是公式(1)中的形变参数,是否就是理论上位能面计算所求得的平衡形变,亦即位能面极小所对应的形变(即所谓静态形变),或者是动态形变(包含了零点振动的贡献)呢?

为了回答这一问题,利用通常的 Nilsson-Strutinsky-BCS 方法<sup>[3]</sup>对文献[1]所涉及的全部偶-偶核( $Z$  从30到铀系区),作了位能面计算。计算是在  $\epsilon_2$ - $\epsilon_4$  平面进行,采用 T. Bengtsson 和 I. Ragnarsson 建议的标准 Nilsson ( $\kappa, \mu$ ) 参数组<sup>[4]</sup>。由于所涉及的大范围的核具有的  $\epsilon_2$  和  $\epsilon_4$  值差别较大,对于不同的核区不得不采用不同的网格点(但

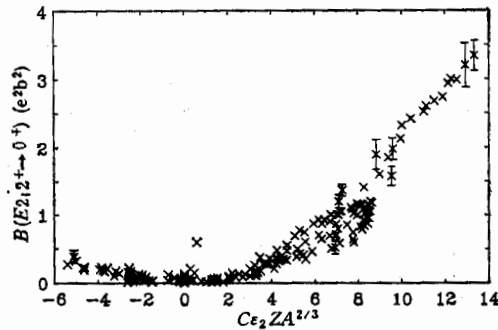


图2  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值与  $C\epsilon_2 Z A^{2/3}$  关系曲线 ( $C = 0.0144$ )

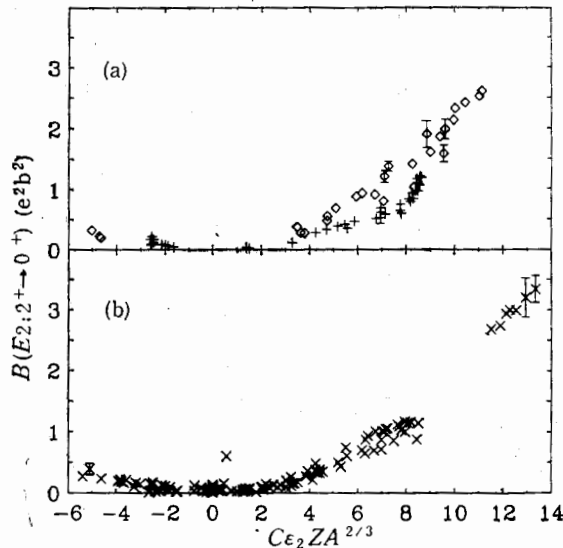


图3(a)  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值与  $C\epsilon_2 Z A^{2/3}$  关系图 ( $s > 0.03$ ), (b) 同 (a) ( $s < 0.03$ )

$\epsilon_2, \epsilon_4$  的步长是一样的,以保证能量及形变内插的精度的一致性),从而保证位能极小出现于网格之内,而不是出现在边界上。由此计算得到了上述全部偶-偶核的基态平衡形变  $\epsilon_2, \epsilon_4$  值。下面先讨论  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值对平衡形变的依赖关系。考虑到  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值,或  $Q_0$  值对  $Z A$  的依赖关系,以  $C\epsilon_2 Z A^{2/3}$  为横坐标来观察  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值

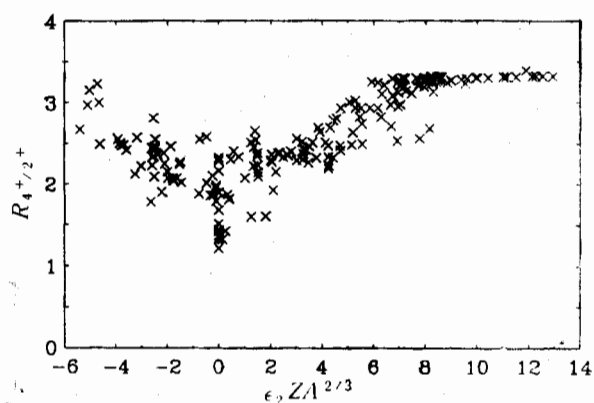


图 4  $R_{4+1/2+}$  与  $C\epsilon_2 Z A^{2/3}$  关系曲线

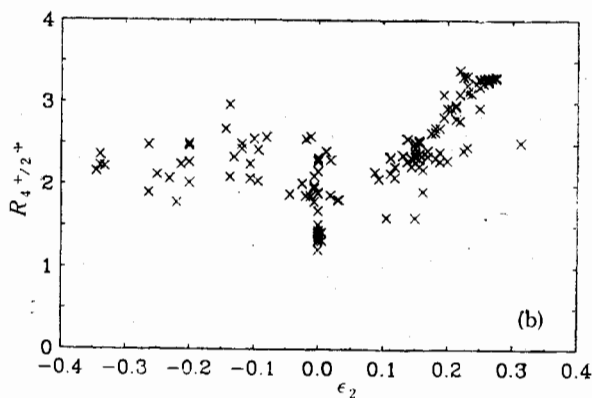
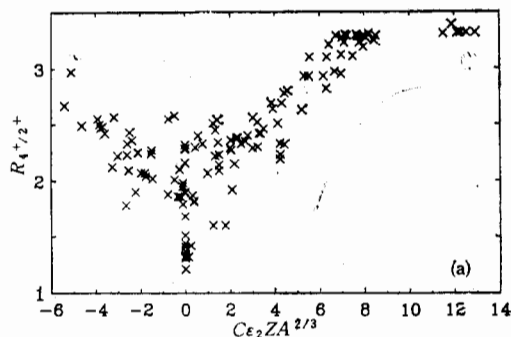


图5(a)  $R_{4+1/2+}$  与  $C\epsilon_2 Z A^{2/3}$  关系曲线 ( $|\epsilon_4| < 0.03$ )

图5(b)  $R_{4+1/2+}$  与  $\epsilon_2$  关系曲线 ( $|\epsilon_4| < 0.03$ )

的变化规律,其中  $C = 0.0144$ ,是为了坐标值标记的方便而引入的。由图 2 可见, $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值是大致比例于  $Q_0$  的平方的。但在  $C\epsilon_2 Z A^{2/3} \approx 5-10$  的区段,结构比较复杂。这一段对应于重稀土区,  $|\epsilon_4|$  比较大。图 3 对不同的  $\epsilon_4$  值作了区分,于是从图 3(a) ( $|\epsilon_4| > 0.03$ ) 可见,对应于  $\epsilon_4 < 0$  的  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  较大,是图中的上分支(标为  $\diamond$ ),

而  $\epsilon_4 > 0$ , 则  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  较小, 对应于图中的下分支(标记为  $\times$ ), 这正反映了上述公式(1)中  $Q_0$  对  $\epsilon_4$  的依赖关系: 由于  $\epsilon_4$  一次项的系数为负值, 所以  $\epsilon_4$  大于  $Q_0$  值, 从而  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值愈小, 反之亦然。而图3(b) 则对应于  $|\epsilon_4| < 0.03$ , 可以看到一个简单的平滑分布。由此可见, 图2所出现的在  $C\epsilon_2 Z A^{2/3} \approx 5-10$  区段的复杂结构, 主要是来自于  $\epsilon_4$  的效应, 正如公式(1)所预示的。这样从图2、图3曲线的平滑性及平方曲线的基本形状, 应该认为  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值是取决于核的平衡形变的, 亦即直接联系于核位能面极小所对应的形变值, (即所谓静态形变)。而且这一曲线的平滑性表明, 利用 Nilsson-Strutinsky-BCS 方法计算偶-偶核的基态位能面, 提取平衡形变值, 能够在大规模的核区给出合理的结果。那么, 基态带的  $4^+$  态和  $2^+$  态能量比  $R$  值和此平衡形变的关系又是如何的呢? 从图4可见  $R$  值和  $C\epsilon_2 Z A^{2/3}$  不存在直接的对应关系, 为了便于和图2、图3进行比较, 图4采用了同样的横坐标。图4中  $R$  值的分散性是否也是来自于  $\epsilon_4$  的影响呢? 图5(a) 只包含了  $|\epsilon_4| < 0.03$  的数据, 显而易见,  $R$  值的分散性并未消失。图5(b) 是以  $\epsilon_2$  为横坐标, 仍然只包括  $|\epsilon_4| < 0.03$  的数据,  $R$  值的分散性依然存在, 这说明

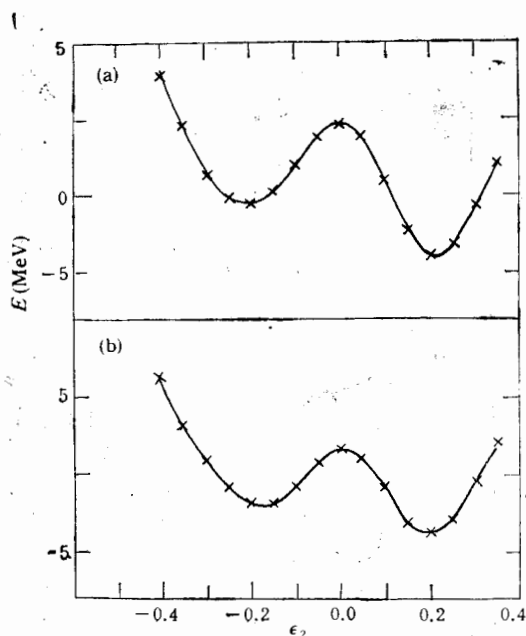


图6  $^{182}\text{Os}$  和  $^{184}\text{Pt}$  核的位能曲线

(a)  $Z = 76, A = 182, R = 3.15, B(E2) = 0.76e^2b^2$

(b)  $Z = 78, A = 184, R = 2.68, B(E2) = 0.79e^2b^2$

分散性也不是主要来自于  $Z A^{2/3}$  因子。图4及图5表明,  $R$  值和核的平衡形变不存在简单的对应关系。

为了对  $R$  值的物理内涵作进一步的了解, 选择了一对核,  $^{182}\text{Os}$  和  $^{184}\text{Pt}$ , 它们具有相近的  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值, 但  $R$  值却不相同。图6给出了它们的位能曲线。由图可见, 两个核的平衡形变均约为  $\epsilon_2 \approx 0.2$ ,  $Z, A$  值亦十分相近, 因此  $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  值亦相近, 但  $R$  值却相差不小:  $^{182}\text{Os}$  的  $R$  值是 3.15, 而  $^{184}\text{Pt}$  的  $R$  值却只有 2.68。仔细观察这两条位

能曲线不难发现,与  $^{184}\text{Pt}$  相比,  $^{182}\text{Os}$  的位能曲线的谷更窄、更深,且与扁椭球谷之间的位垒也要来得高些,这就说明了  $^{182}\text{Os}$  核的  $R$  值较高的原因。 $^{182}\text{Os}$  的位能面对应于更硬的转子(恢复力大)。由此例子可见,  $R$  值依赖于整个位能面的结构,直接联系于其非谐和性 (Anharmonicity),而不像  $B(E2)$  值那样,直接联系于核的平衡形变。

对于  $R$  值和  $B(E2)$  值物理内涵的更深入的定量理解,显然还需要进一步的理论与实验研究。例如对奇  $A$  核特定组态  $B(E2)$  值对平衡形变的依赖关系的研究,就有利于定量地揭示奇核子极化作用的组态依赖性。对于 La 奇  $A$  同位素的实验研究,目前就正在纽约州立大学石溪分校核结构实验室中进行。

作者感谢 R. Caten 博士, V. Zimfer 博士和 D. Fossan 教授所作的有益讨论。

### 参 考 文 献

- [1] S. Raman et al., *At. Data and Nucl. Data Tables*, **36**(1987)1.
- [2] I. Ragnarsson and W. Nazarewicz, private communication.
- [3] S. G. Nilsson et al., *Nucl. Phys.*, **A131**(1969)1.
- [4] T. Bengtsson and I. Ragnarsson, *Nucl. Phys.*, **A436**(1985)14.

## Some Collective Observables in Nuclear Motion

Zhang Jingye

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

Received on June 22, 1993

### Abstract

The  $B(E2; 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  values and ground band energy ratio  $R = E(4_1^+)/E(2_1^+)$ , are often used as indicators of the collectivity in nuclear motion. A great effort has been paid to understand systematically the relation between these quantities and the calculated deformation parameters through a standard potential energy surface approach. It is found that the  $B(E2; 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$  values are dominantly determined by the equilibrium (static) deformation of nuclei. The existing Nilsson-strutinsky-BCS approach can reproduce nicely reasonable deformation values for a great variety of even-even nuclei, from  $Z = 30$  to actinides, while the energy ratio  $R$  reflects the whole structure of the potential energy surface, such as the stiffness and unharmonicity.

**Key words** E2 transition, collective motion, potential energy surface (PES), deformation.