

关于偶偶稀土核的形变

张敬业 钟纪泉 廖毕程

(中国科学院近代物理研究所, 兰州)

摘 要

对稀土偶偶核的基态形变,理论上已有一些系统计算,实验上也积累了不少数据。本文根据 Bohr 和 Mottelson 关于对关联对转动惯量的影响的近似考虑以及转动惯量对于形变的依赖关系,从实验有效转动惯量提取了核的形变值。与理论结果以及从电四极矩提取的形变数值作了系统比较,结果表明 Bohr 和 Mottelson 关于对关联效应的近似考虑是合理的。

众所周知,四极形变在描述偶偶稀土核的基态形变中起着主要的作用,这一形变自由度与核的转动惯量及电四极矩跃迁几率(从而电四极矩)有着直接的联系。此外,核内的对关联对于核的转动惯量也有着重要的作用。因此,为了简化问题,本文集中力量讨论四极形变,而认定十六极形变及 γ 自由度即三轴不对称性对于偶偶稀土核的基态可以忽略。关于 γ 自由度的影响,我们将在随后的文章中加以讨论。

已知核的有效转动惯量可表示为^[1]:

$$\left. \begin{aligned} J_{\text{eff}} &= \frac{1}{2} \left[\frac{dE}{dI(I+1)} \right]^{-1} \\ J_{\text{eff}}(I-2) &= \frac{2I-1}{E(I) - E(I-2)} \end{aligned} \right\} \text{(取 } \hbar = 1 \text{ 单位)} \quad (1)$$

这个量,理论上应等于(当 $\gamma = 0, \epsilon_4 = 0$);

$$J_F = J_{Fp}(\epsilon, Z, A, \Delta_p) + J_{FN}(\epsilon, N, A, \Delta_n), \quad (2)$$

其中,质子部分贡献为

$$J_{Fp}(\epsilon, Z, A, \Delta_p) = J_{\text{rig}}(\epsilon, A) \cdot \frac{Z}{A} (1 - f(x_p)), \quad (3)$$

中子部分贡献为

$$J_{FN}(\epsilon, N, A, \Delta_n) = J_{\text{rig}}(\epsilon, A) \cdot \frac{N}{A} (1 - f(x_n)). \quad (4)$$

这里, ϵ 为四极形变; Δ_p, Δ_n 为质子和中子的对能隙。我们直接取实验的奇偶质量差^[2]作为对能隙。 f 函数反映了对关联对于转动惯量的影响,是 Bohr 和 Mottelson 引入的^[3]。

$$f(x) = \frac{\ln(x + \sqrt{1+x^2})}{x\sqrt{1+x^2}}, \quad (5)$$

对于质子

$$\left. \begin{aligned} x_p &= \frac{\varepsilon \tilde{\omega}_p}{2\Delta_p} \\ x_n &= \frac{\varepsilon \tilde{\omega}_n}{2\Delta_n} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

其中

$$\begin{aligned} \tilde{\omega}_p &= \tilde{\omega}_0 \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{N-Z}{A}\right) \\ \tilde{\omega}_n &= \tilde{\omega}_0 \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{N-Z}{A}\right), \\ \tilde{\omega}_0 &= 41 \times A^{-\frac{1}{2}} (\text{MeV}). \end{aligned} \quad (7)$$

刚体转动惯量为

$$\begin{aligned} J_{\text{rig}}(\varepsilon, A) &= \frac{1}{144} A^{5/3} \left[\left(1 + \frac{1}{3} \varepsilon\right)^2 \left(1 - \frac{2}{3} \varepsilon\right) \right]^{2/3} \\ &\cdot \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{1}{3} \varepsilon\right)^2} + \frac{1}{\left(1 - \frac{2}{3} \varepsilon\right)^2} \right] (\text{MeV}). \end{aligned} \quad (8)$$

利用以上诸式和实验 2^+ 能级, 我们系统地提取了偶偶稀土核从 Sm 到 Hg 的基态四极形变, 在表 1 中表示成 $\varepsilon_2(J)$, 为了和理论值作比较, 我们也列出了 Möller 和 Nix 利用折叠 Yakawa 位所作的位能面系统计算^[4], 但略去了 ε_4 , 在表 1 中表示成 $\varepsilon_2(\text{MN})$. 最近, 一个包括瑞典、波兰、中国、丹麦、美国的高自旋物理学工作者的国际合作小组利用 Woods-Saxon 位进行大型的三维 $(\beta_2, \beta_4, \gamma)$ 形变空间位能面的自洽计算, 所得的重稀土偶偶核的基态的形变, 也列表 1 中, 表示为 $\varepsilon_2(\text{BNZ})$, 以资比较. 形变参数 β 与 ε 之间的关系, 由下式确定^[6]:

$$\varepsilon_2 = 0.944\beta_2 - 0.122\beta_2^2 + 0.154\beta_2\beta_4 - 0.199\beta_4^2. \quad (9)$$

最后, 在表 1 中还列出了 $\varepsilon_2(Q_0)$, 即由电四极矩 Q_0 实验值^[7], 按照下式^[1]

$$Q_0 = \frac{4}{5} eZA^{2/3} \cdot \varepsilon_2 \left(1 + \frac{\varepsilon_2}{2}\right) r_0^2, \quad (10)$$

其中

$$r_0 = 1.25 \text{ fm.}$$

所定出的 ε_2 . (假定 $Q_1 \approx Q_0$)

从表 1 和图 1 的结果中, 我们可以看出:

1. 在整个稀土区偶偶核的范围内, 理论值和实验值的符合是良好的. 由此反过来表明了本文所讨论的通过实验有效转动惯量来获取核的形变的方法是可行的, Bohr 和 Mottelson 关于对关联对转动惯量的影响的近似处理是合理的.

表 1 ^{66}Dy , ^{68}Er , ^{74}W , ^{76}Os 诸同位素的四极形变

Z	N	$\epsilon_2(\text{MN})$	$\epsilon_2(J)$	$\epsilon_2(Q_0)$	Z	N	$\epsilon_2(\text{MN})$	$\epsilon_2(\text{BNZ})$	$\epsilon_3(J)$	$\epsilon_2(Q_0)$
66	82	-0.010			74	96	0.1983	0.1929	0.2140	
66	84	-0.030	-0.083		74	98	0.2185	0.2152	0.2311	
66	86	0.152	0.104		74	100	0.2252	0.2273	0.2287	
66	88	0.198	0.163	0.189	74	102	0.2319	0.2286	0.2316	
66	90	0.212	0.268	0.231	74	104	0.2252	0.2245	0.2256	
66	92	0.239	0.296	0.252	74	106	0.2252	0.2204	0.2080	
66	94	0.245	0.302	0.252	74	108	0.2252	0.2154	0.2054	
66	96	0.252	0.303	0.258	74	110	0.2118	0.2060	0.1766	0.1859
66	98	0.259	0.295	0.267	74	112	0.2050	0.1916	0.1753	0.1824
68	84	-0.050			76	92	0.151			
68	86	0.145			76	94	0.158			
68	88	0.185	0.144		76	96	0.171	0.164	0.171	
68	90	0.205	0.211		76	98	0.192	0.182	0.216	
68	92	0.232	0.260		76	100	0.198	0.207	0.210	
68	94	0.245	0.287	0.247	76	102	0.198	0.210	0.213	
68	96	0.252	0.292	0.252	76	104	0.198	0.209	0.209	
68	98	0.259	0.296	0.262	76	106	0.205	0.206	0.198	
68	100	0.266	0.262	0.261	76	108	0.198	0.199	0.198	
					76	110	0.192	0.183	0.175	0.167
					76	112	0.171	0.169	0.169	0.157
					76	114	0.151	-0.158	0.157	0.150
					76	116	0.145	-0.147	0.146	
					76	118		-0.134		

Q_0 的实验值取自文献[7].

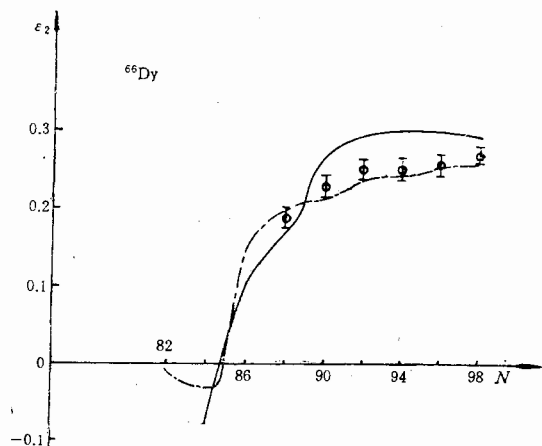


图 1 为表 1 对应的曲线。其中,各曲线的意义如图示

由实验 Q_0 值提取的 $\epsilon_2(Q_0)$ 用圆点表示。—— $\epsilon_2(J)$ - - - - $\epsilon_2(\text{MN})$ \odot $\epsilon_2(Q_0)$

2. 由实验有效转动惯量所获取的 $\epsilon_2(J)$, 在轻稀土区范围与 Möller 和 Nix 的理论值 $\epsilon_2(\text{MN})$ 比较起来有较大的起伏, 这是因为前者是以真实的奇偶质量差作为对能隙代

人计算的,而后者则是由光滑的经验公式求得对能隙的。对于重稀土核,由于结合能亦大多是由内插确定的^[2],因此所得的奇偶质量差自然也光滑些,所以两者的差别也减小了。另外,在对比中,我们忽略了 ϵ_4 ,这也可导致一定的差别^[8]。

3. 由公式(2)到(7)可见,用这样的公式,从实验转动惯量获取 ϵ_2 ,并不能确定 ϵ_2 的正负号,在实际计算中,我们是令实验有效转动惯量等于(2)式确定的理论值,通过迭代方法来确定 ϵ_2 的, ϵ_2 的初值用 $\epsilon_2(MN)$,所以这样获取的 ϵ_2 的正负号是由初值,即通过位能面计算所得的 ϵ_2 确定的。这是从转动惯量提取四极形变的局限性,但这一局限性,可通过电四极矩的符号来加以弥补,而不导致原则上的困难。

在本文的计算中,我们略去了 γ 自由度的影响,这对于稀土区的偶偶核基态是可以的,三维位能面的计算^[9]亦支持了这一点,但对于高自旋态 γ 自由度自然是不能略去的。我们将在随后的文章中,在确定高自旋态核的形状时,进一步探讨 γ 自由度问题。

参 考 文 献

- [1] R. Bengtsson, S. Aborg, *Phys. Lect.*, **172B**(1986), 277.
- [2] A. H. Wapstra, G. Audi, *Nucl. Phys.*, **A432**(1985), 1.
- [3] A. Bohr, B. Mottelson, "Nuclear Structure", Vol. II, p82.
- [4] P. Moller, R. Nix, Private communication, (1984).
- [5] R. Bengtsson, T. Bengtsson, J. Dudek, G. Leander, W. Nagarawicz Jingye Zhang (张敬业), Lund-Mph-86/08 预印本; 张敬业, 北京“串列上的物理”国际会议特邀报告,五月二十六日至三十日,1986年.
- [6] I. Ragnarsson, Private Communication, (1985, 10).
- [7] M. A. J. Mariscotti et al., *Phys. Rev.*, **178**(1969), 1864; F. Azgui, et al., *Nucl. Phys.*, **A439**(1985), 573.
- [8] S. E. Larsson, *Phys. Scripta*, **8**(1973), 17.

ON THE DEFORMATION OF THE EVEN-EVEN RARE-EARTH NUCLEI

ZHANG JINGYE ZHONG JIQUAN LIAO BICHENG

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

ABSTRACT

Based on the approximate consideration suggested by Bohr and Mottelson, in which the moment of inertia is effected by pairing correlation and depended on the deformation, the values of the nuclear deformation were extracted from the experimental effective moment of inertia, and it has been compared systematically with theoretical results and the values extracted from electronic intrinsic quadrupole moment. It is shown that Bohr and Mottelson's consideration is reasonable.