

## IBM-II 中的有效玻色子数

赵玉民 顾金南

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

### 摘 要

通过简单的半经验方法, 本文给出在  $Z = 40, 64$  子壳附近的有效质子玻色子数, 提出在  $SU(3)$  极限下存在质子玻色子和中子玻色子的饱和。用此可解释稀土区偶偶核中  $B(E2)$ 、 $B(M1)$  的强饱和性和关联性。并把本文的结果与微观计算的有效玻色子数作了比较, 两者是一致的。

有效玻色子数的概念起源于  $Z = 40, 64$  子壳附近核的性质的研究。在相互作用玻色子模型(即 IBM)中,  $Z = 40, 64$  子壳的影响是不可忽略的<sup>[1-4]</sup>。IBM 假设, 互相作用的玻色子数目为价核子数(若超过半满壳则为价空穴数)的一半, 壳芯的影响包含在参数中。然而子壳的存在使价核子(或价空穴)个数变得模糊, 玻色子数也就不很清楚。此外由于 IBM 微观基础研究也涉及到玻色子数假定的推导, 因此人们对有效玻色子数一直很感兴趣。近些年来, 人们发展了一些唯象或半经验方法<sup>[4,5]</sup>, 也找到了一些微观计算的手段<sup>[6,7]</sup>, 这些研究都给出了很多关于有效玻色子数的有用结果。不过这些值一般不是整数, 误差范围较大, 而且一般不是针对具体的原子核, 不能直接用于数值计算。

我们知道, 在 IBM-II 中, 随着价核子对的变化, 哈密顿量  $\hat{H}$  的动力学对称性也逐渐演化, 与此相应,  $\hat{H}$  中参数作光滑变化。考虑两个核, 如果它们有相同的壳芯 (inert core) 和相同的中子玻色子数, 而且有极相近的各种性质, 如能谱、电四极矩、电磁跃迁几率、基态形变等等, 则可认为两者有相同的有效质子玻色子数。若其中一个核的质子玻色子数有公认的值  $N_{\pi}^{(1)}$ , 另一个核的有效质子玻色子数  $N_{\pi}^{eff}$  就等于  $N_{\pi}^{(1)}$ ; 如果中子对、质子对的增加对核的性质基本上没有影响, 就可以认为出现了中子玻色子数和质子玻色子数饱和的现象。为使结果有较高的准确性, 采用“两边夹”的方法<sup>[8]</sup>, 即选取多个  $N_{\pi}$  确定的核, 直至  $N_{\pi}^{eff}$  待定的核的性质位于某两个  $N_{\pi}$  的值已知的核之间, 且这两个已知的  $N_{\pi}$  形成的区间长度不大于 2, 这样  $N_{\pi}^{eff}$  就只能取一个整数值。

不久前, S. Raman 等人完成了从轻到重核偶偶核性质的编辑工作, 并做了系统学研究<sup>[9]</sup>。核的能谱可从 Nuclear Data Sheets 上方便地找到, 所以用上述的半经验方法确定有效玻色子数是很简便的。表 1—6 给出了  $Z = 40, 64$  子壳附近的几个核同位素的有效质子玻色子数  $N_{\pi}^{eff}$ , 并与文献[4]用  $g_2^+$  实验值反推出的  $N_{\pi}^{eff}$  值做了比较。

从表中的结果看, 对每一个同位素核, 子壳效应的影响变化是光滑的, 并非如文献[2,

表 1

核 素	$^{142}\text{Ce}$	$^{144}\text{Ce}$	$^{146}\text{Ce}$	$^{148}\text{Ce}$	$^{150}\text{Ce}$
$N_{\pi}^{\text{eff}}$	3	3	3	4	4
其它方法计算的 $N_{\pi}^{\text{eff}}$	/	/	1.8(7)	<2.6	/

表 2

核 素	$^{144}\text{Nd}$	$^{146}\text{Nd}$	$^{148}\text{Nd}$	$^{150}\text{Nd}$	$^{152}\text{Nd}$
$N_{\pi}^{\text{eff}}$	4	4	4*	5	5
其它方法给出的 $N_{\pi}^{\text{eff}}$	0.2(1)	1.6(5)	5.0(15)	6.7(18)	/

表 3

核 素	$^{146}\text{Sm}$	$^{148}\text{Sm}$	$^{150}\text{Sm}$	$^{152}\text{Sm}$	$^{154}\text{Sm}$
$N_{\pi}^{\text{eff}}$	3	3	4	5	6
其它方法给出 $N_{\pi}^{\text{eff}}$	/	/	4.0(8)	6.3(13)	7.0(9)

表 4

核 素	$^{148}\text{Gd}$	$^{150}\text{Gd}$	$^{152}\text{Gd}$	$^{154}\text{Gd}$	$^{156}\text{Gd}$
$N_{\pi}^{\text{eff}}$	4	4	5	6	6

表 5

核 素	$^{90}\text{Sr}$	$^{92}\text{Sr}$	$^{94}\text{Sr}$	$^{96}\text{Sr}$	$^{98}\text{Sr}$
$N_{\pi}^{\text{eff}}$	2	2	2	2	5*

表 6

核 素	$^{92}\text{Zr}$	$^{94}\text{Zr}$	$^{96}\text{Zr}$	$^{98}\text{Zr}$	$^{100}\text{Zr}$	$^{102}\text{Zr}$
$N_{\pi}^{\text{eff}}$	1	1*	0*	1	3*	5*

注: “\*”的  $N_{\pi}^{\text{eff}}$  值需进一步研究,尚不太肯定

3]采用的近似那样。过去认为  $N \leq 88$  时,  $Z = 64$  子壳对  $N_x^{\text{eff}}$  影响很大;  $N \geq 90$  时,  $Z = 64$  子壳对  $N_x^{\text{eff}}$  没有影响, 这种突然变化的近似看来是太粗略了。

由表 4 中的  $N_x^{\text{eff}}$  结果可以看到有效质子玻色子数的饱和性。如  $^{154}\text{Gd}$ 、 $^{156}\text{Gd}$ , 子壳效应是可以忽略的, 按照 IBM-II 假设, 它们的  $N_x$  值应该为 7, 而表 4 给出的值为 6。事实上, 如把这种方法应用于稀土区大变形转动核, 就可以看到,  $N_x$ 、 $N_v$  最后都收敛于 6<sup>[8]</sup>; 而对铜系区核,  $N_x$ 、 $N_v$  收敛于 7。

最近, 有人注意到稀土区偶偶核的 E2 和 M1 跃迁之间存在着强烈的关联性和饱和性<sup>[10]</sup> (如图 1)。转变点位于  $P = 6$  ( $P = \frac{N_n \cdot N_p}{N_n + N_p}$ ,  $N_n$ 、 $N_p$  分别为价中子数和价质子数)。而在 IBM-II 的  $SU(3)$  极限下, 如果  $N_x + N_v = N \geq 10$ , 容易证明  $B(E2) \rightarrow 2e_B^2 N^2$ ,  $B(M1) \rightarrow 3g^2 N_x N_v / (\pi \cdot N)$ , 其中  $e_B$  为玻色子有效电荷,  $g = g_x - g_v$ , 即  $g$  因

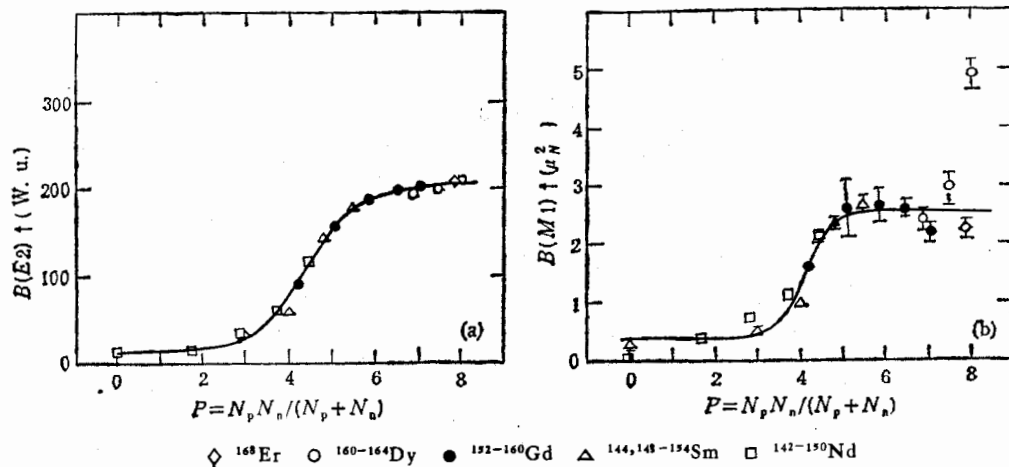


图 1 (a) 稀土区偶偶核  $2_1^+$  态 E2 跃迁强度随  $P$  的变化 (b) 低位能级 ( $E_x \leq 4\text{MeV}$ )  $B(M1)$  强度和

图中在文献[10]基础上增加了一些新数据。

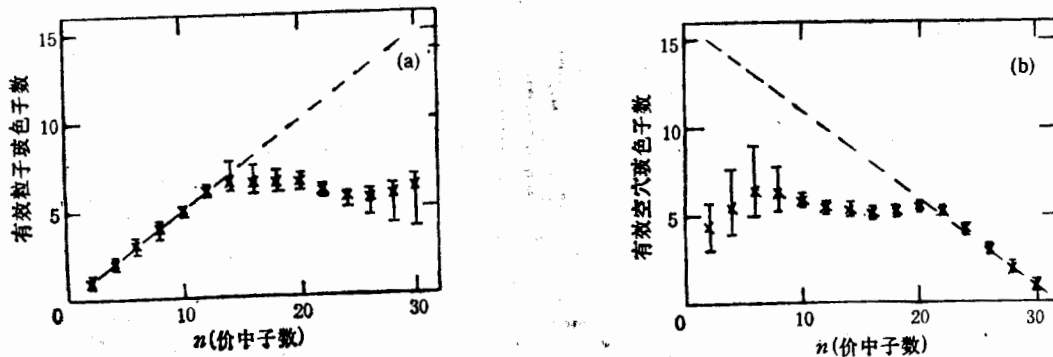


图 2 (a) 有效“粒子”玻色子数随价核子数的变化 (b) 有效“空穴”玻色子数随价核子数的变化

计算的是  $N = 50-82$  主壳情况。<sup>[7]</sup>

子之差。因为  $e_B$  和  $g$  因子稳定性较好,所以或者  $SU(3)$  极限下稀土区偶偶核的  $N_\pi, N_\nu$  饱和收敛,或者 IBM-II 对此无法解释。如上所述,  $N_\pi, N_\nu$  对稀土区收敛于 6 (容易证明,文献[10]中转变点  $P = 6$  与这里  $N_\pi, N_\nu$  收敛于 6 是一致的),取  $e_B, g$  值的典型结果,令  $N_\pi = N_\nu = 6$ ,代入  $E_2$  和  $M_1$  跃迁几率计算公式,可知理论计算值与实验结果(饱和值)吻合很好。

IBM-II 中  $SU(3)$  极限下有效玻色子数的饱和性,从微观的玻色子数计算结果中也可找到证据,如图 2 中的,计算结果都暗示了玻色子数的饱和性。

有效玻色子数以及  $SU(3)$  极限下玻色子数的饱和,将使  $F$  旋多重态复杂化,  $F$  旋多重态会出现新的机制,这方面将另行文叙述。

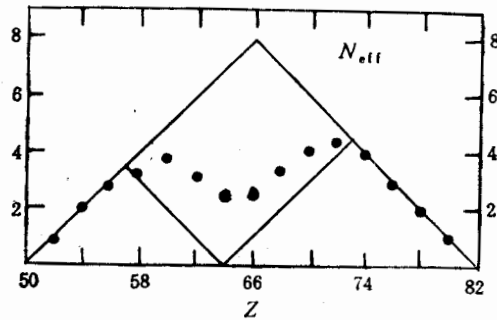


图 3 质子数变化时,  $N_{\pi}^{eff}$  的变化情况,这个结果反映了  $Z = 64$  子壳的影响。在  $SU(3)$  极限下子壳影响忽略时,  $N_{\pi}^{eff}$  有饱和效应<sup>[6]</sup>

### 参 考 文 献

- [1] R. F. Casten et al., *Phys. Rev. Lett.*, **47**(1981), 1433.
- [2] R. L. Gill et al., *Phys. Lett.*, **B118**(1982), 251.
- [3] A. Wolf et al., *Phys. Lett.*, **B123**(1983), 165.
- [4] A. Wolf et al., *Phys. Lett.*, **B158**(1985), 7;  
*Phys. Lett.*, **B190**(1987), 19.
- [5] C. S. Han et al., *Phys. Rev.*, **C42**(1990), 280.
- [6] O. Scholten, *Phys. Lett.*, **B127**(1983), 144.
- [7] N. Yoshinaga, *Nucl. Phys.*, **A522**(1991), 99.
- [8] 赵玉民,中国科学院近代物理所硕士论文,(1991).
- [9] S. Raman et al., *Nuclear Data Table* (1987), P. 1—96;  
*Phys. Rev.*, **C37**(1985), 805.
- [10] C. Rangacharyulu et al., *Phys. Rev.*, **C43**(1991), R949.

## Effective Boson Numbers in IBM-II

ZHAO YUMIN GU JINNAN

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

### ABSTRACT

Effective boson numbers in IBM-II are tackled with a simple semi-empirical method, the saturation of proton boson numbers and neutron boson numbers is suggested. It explains the strong correlation and saturation effect of  $E_2$  and  $M_1$  transition strengths in even-even rare-earth nuclei. Finally, the results here are compared with effective boson numbers calculated microscopically, the agreement is good.