

偶偶核性质系统学研究状况及展望

赵玉民

(南京大学物理系 南京 210008)

顾全南

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘 要 本文总结了偶偶核系统学研究结果,这是近年来兴起的一个领域,主要包括:用已有模型对偶偶核能谱和电磁跃迁性质及其演化规律进行系统分析,从实验数据中提取经验公式等.可以预料,偶偶核性质的系统学研究在今后几年内,还会有新的发展.

关键词 能谱, 电磁跃迁, IBM-2, 饱和性.

近年来,随着实验技术的发展和核数据的增多,人们开始对原子核特别是偶偶核的性质进行系统研究,从中寻找偶偶核的性质随质量数 A 、电荷数 Z 增加的演化规律.其中有些是直接由实验数据中提取经验规律,然后用已有模型对此定性说明;有些用已有模型分析、描写某物理量的演化特征.值得一提的是,有些系统学研究是从其它问题中提出来的,如 F 旋多重态入侵带的研究^[1],需找出电四极矩 Q_2 和 $N_\pi \cdot N_\nu$ (即 IBM-2 中质子玻色子数和中子玻色子数之积)的函数关系,而 IBM-2 中 Q_2 是用 $(e_\pi N_\pi + e_\nu N_\nu)$ 来表达的 (e_π, e_ν 分别为质子玻色子、中子玻色子的有效电荷).到目前为止,系统的偶偶核性质研究主要考察能谱、电四极跃迁几率 $B(E2)$ 和磁偶极跃迁 $B(M1)$ 等物理量,讨论的核素一般是中重核.下面对此逐一介绍.

1 能谱系统学

(1985~1986)年, Casten 对偶偶核低位谱激发能 $E_{2_1^+}$ 、 $E_{4_1^+}$ 和 $E_{4_1^+}/E_{2_1^+}$ 进行了系统整理^[2],发现它们随 $(N_\pi \cdot N_\nu)$ 的变化呈现出明显的规律性. $E_{2_1^+}$ 随着 $N_\pi \cdot N_\nu$ 增加递减, $E_{4_1^+}/E_{2_1^+}$ 由 ~ 2 增加到 3.3 左右并趋于饱和 (如图 1). 这种简单的规律性可以用 $n-p$ 相互作用强度或 IBM 予以定性解释. $n-p$ 相互作用强度决定核的 $E_{4_1^+}/E_{2_1^+}$ 、 $E_{2_1^+}$ 的大小,而 N_π, N_ν 是 $n-p$ 相互作用的一个量度. 在 IBM 框架内,上述

$E_{2_1^+}$ 和 $E_{4_1^+}/E_{2_1^+}$ 的变化对应于原子核动力学对称性从 $U(5)$ 极限到 $SU(3)$ 极限的演化,即从球形振动核过渡到大变形转动核,此外,由 $Z = 40, 64$ 处的反常行为可讨论此处子壳效应^[3].

不久前,有人讨论了 $E_{6_1^+}$ (稀土区)的系统学^[3],发现 $E_{6_1^+}$ 的系统性与 $E_{4_1^+}$ 、 $E_{2_1^+}$ 相似.它同样可以如上定性解释.目前更高的激发态的能谱系统学研究尚未见报导.

2 $B(E2)$ 系统学

长期以来,人们由 $B(E2)$ 实验数据总结出各种局域 (local) 的、区域 (regional) 的、整体 (global) 的经验或理论关系,这些关系不仅提供新的知识,还有实用价值,如对未知的 $B(E2)$ 预言等. (1987~1988)年, S. Raman 等^[4] 编辑了所有偶偶核的 $B(E2)$ 等,对已有的 $B(E2)$ 系统学知识进行了总结并做了比较全面的 $B(E2)$ 系统学研究,在 IBM-2 框架内分析 $B(E2)$ 变化时,发现除铜系区呈饱和性不符合 IBM-2 理论值外,其它区域吻合较好.

此后,有人^[5]系统研究了 γ - $gB(E2)$ 的比值: $B(E2, 2_\gamma - 0_g/2_g)$ 、 $B(E2, 2_\gamma - 2_g/4_g)$ 、 $B(E2, 3_\gamma - 2_g/4_g)$ 等,发现这些比值在不同区域都对 $(N_\pi \cdot N_\nu)$ 有光滑的依赖关系,在 IBM-2 内从 $U(5)$ 到 $SU(3)$ 极限的过渡很明显.不久前, Wolf 等^[6]利用 IBM-2 内已有的 $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ 公式,提出一个统一的 $B(E2, 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ 解

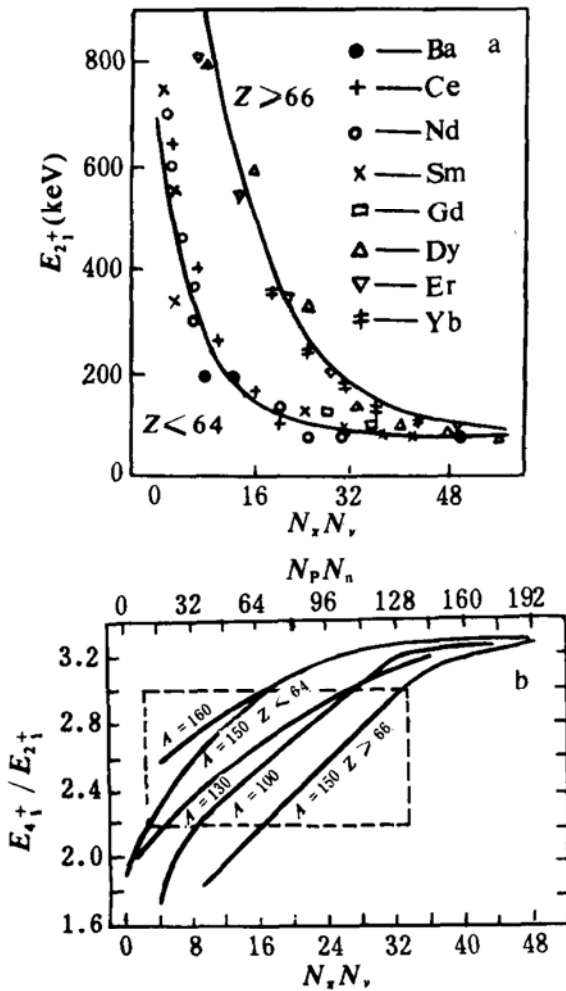


图 1 a. $E_{2_1^+}$ 随 $(N_p \cdot N_n)$ 的变化 ($A \approx 100 \sim 200$)
引自文献[3]; b. $E_{4_1^+}/E_{2_1^+}$ 随 $(N_p \cdot N_n)$ 的变
化,引自文献[2]

析式. 对 $A > 60$ 的核, 这个表达式最大偏差约 40%. 与此同时, 人们也注意到了稀土区半满壳附近 $B(E2)$ 的饱和性^[4,7], 这与 IBM-2 定性分析的结果不一致.

3 磁偶极跃迁

近年来, NRF、 (e, e') 、 (p, p') 等技术的发展, 使磁偶极跃迁的数据, 特别是 (2~3.5) MeV 之间的轨道磁偶极跃迁的数据迅速增加起来. 对稀土区元素来说, 激发能 $E_{ex} \leq 4\text{MeV}$ 的磁偶极激发主要是轨道磁偶极激发 (^{164}Dy 例外), 而 $4\text{MeV} < E_{ex} \leq 9\text{MeV}$ 的属于自旋翻转

的磁偶极激发. $B(M1)$ 系统学研究主要集中在轨道磁偶极激发方面, 它对应着 IBM-2 的混合对称态.

在 IBM-2 内, 磁偶极跃迁主要集中在最低的混合对称态上, 所以 $B(M1)$ 系统学研究对象一般取 $\sum_i B_i(M1)$ 即所有轨道磁偶极跃迁之和. 已有研究表明^[8], $B(M1)$ 正比于形变参数 δ 的平方, 它与 $B(E2, 0_1^+ \rightarrow 2_1^+)$ 有很强的关联性^[7], 在大变形区域, 稀土区和铜系区有 $B(M1)$ 的饱和现象, 这与 IBM-2 预言是不一致的.

用于系统描写 $B(M1)$ 的模型很多, 如 IBM-2、RPA、Nilsson 模型等^[9-11], 已有人在这些框架内做定量计算, 解释 $B(M1)$ 随着 N, Z 的演化规律, 包括给出 $B(M1)$ 的碎裂. 总的来说, IBM-2 给出的碎裂过小, 而有的模型如 RPA 给出的 $B(M1)$ 碎裂又太大, 所以这方面还需进一步研究^[12].

4 展望

偶偶核性质的系统学研究在今后一段时间内, 还将集中在 $B(E2)$ 和 $B(M1)$ 上. 其中 $B(E2)$ 向更高位激发如 $\beta(\gamma)$ 带 $\rightarrow g$ 带跃迁方面扩展, 描写的区间要扩大, 精确度要继续增加. $B(M1)$ 系统学研究也是一个重要方向, 现在还不够成熟.

在系统学研究中, IBM-2 是很有用的工具, 多数系统学研究均可用它方便地做定性甚至定量分析. 考察 $B(E2)$ 、 $B(M1)$ 等物理量时, 常用的变量有 $N = N_p + N_n$ 、 $N_p \cdot N_n$ 、 $N_p \cdot N_n / (N_p + N_n)$ 等. 而 N_p, N_n 的值, 做系统学时不一定象 IBM 假设中的那样取价核子数之半, 而应取 N_p, N_n 的有效数, 这涉及到有效玻色子数的问题^[13]. 其原因有两个, 一是 $Z = 40, 64$ 处有子壳影响, 二是大变形区域有壳外核子自由度的冻结^[14]. 这样考虑后才能把系统学结果与 IBM-2 统一起来^[13-14].

总而言之, 偶偶核系统学研究, 取得了不少成果, 它加深了我们对核性质的理解, 可对

已有模型进行检验和修正,同时系统学给出的经验公式可用于预言未测的某物理量.这个领域今后还将继续发展下去.

参 考 文 献

- 1 Barrett B R, et al. Phys. Rev. ,1991,C43 : R926
- 2 Casten R F. Phys. Rev. ,1986,C33 : 1819; Phys. Lett. ,1985,152B : 145; Nucl. Phys. ,1985,A443 : 1; Phys. Rev. Lett. ,1985,54 : 1991
- 3 Frank W, et al. J. Phys. G : Nucl. Part Phys. , 1990, 16 : L7
- 4 Raman S, et al. Atom. data and Nucl. data tables, 1987, 36 : 1~96; Phys. Rev. ,1988,C37 : 805
- 5 Gupta J B, et al. Phys. Rev. ,1990,C42 : 1373
- 6 Wolf A, et al. Phys. Rev. ,1991,C43 : 2279
- 7 Rangacharyulu C, et al. Phys. Rev. ,1991,C43 : R949
- 8 Ziegler W, et al. Phys. Rev. Lett. ,1990,65 : 2515
- 9 De Coster C. Nucl. Phys. ,1991,A524 : 441
- 10 Faessler A, et al. Nucl. Phys. ,1990,A515 : 237
- 11 Von Isacker P, et al. Nucl. Phys. ,1988,A476 : 301
- 12 顾金南,核物理动态,1990,Vol. 7,3 : 1

Present State and Prospect of Systematics for the Properties of Even - even Nuclei

Zhao Yumin

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210008)

Gu Jinnan

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

Abstract The study of systematics for the properties of even - even nuclei, which is a new research field in nuclei structure, is reviewed here. The primary results, including systematic analysis of energy spectra and electromagnetic transition, and the empirical law extracted from experimental data, are presented. It is expected that there will be new developments in the next few years in this field.

Key Words spectra, electromagnetic transition, IBM - 2, saturation.

新元素命名典礼在 GSI 举行

本刊讯 1987 年, International Union of Pure and Applied Physics/Chemistry (IUPAP 和 IUPAC), 即国际纯粹和应用物理/化学联合会, 曾设立一个国际委员会调查有关新元素发现的情况, 委员会主席是 D. Wilkinson. 该委员会已公布了对超铀元素(原子序数在 100 之后的元素)发现情况的调查结果及评价.

三个最重元素 107, 108 和 109 的发现归功于达姆施塔特的 GSI 重离子实验室. 在 1981 至 1984 年间, 该实验室以 P. Armbruster 和 G. Münzenberg 为首的研究小组进行了成功的实验, 导致这三种元素的发现. 经向 IUPAC 建议之后, 今年 9 月 7 日在 GSI 举行了这几个元素的命名典礼.

根据俄国 Dubna 实验室的建议, 元素 107 命名为 nielsbohrium, 108 命名为 hassium (按拉丁语名称 "Hassia" 而来, 因为 GSI 所在的州为 Hesse 州), 109 命名为 meitnerium 以纪念核裂变的先驱者 LiMeitner (1878-1968).

在委员会公布的调查结果中, 101 元素 (mendelerium) 的发现归功于 Berkeley, 102 (nobelium) 归功于 Dubna, 而 103 (lawrencium) 归功于 Berkeley 和 Dubna. 元素 104 (kurchatorium 或 rutherfordium) 和 105 (暂称 hahnium) 的发现由 Berkeley 和 Dubna 分享. 元素 106 (目前尚无建议的名称) 由 Dubna 和 Berkeley/Livermore 小组所发现.