

文章编号:1000-582X(2002)10-0136-03

微观 sdIBM - 2 + 2q.p 中核¹³⁸Ce 正宇称能谱结构*

童红, 石筑一

(贵州民族学院物理系, 贵阳 550025)

摘要:基于微观相互作用玻色子-费米子形式体系,构造出唯象 IBM - 1 + 2q.p 模型的微观实现,微观 sdIBM - 2 + 2q.p 方案。应用它成功地再现了¹³⁸Ce 核的基态带,β带,γ带和部分高自旋态能谱。给出了近来实验上观察到该核有与单粒子态共存的集体性结构的一种解释。模型给出了一个玻色子从退耦,拆散,占据闯入轨道到参加顺排所需要的最小能量值。计算出的微观信息表明:一个 d 玻色子的突然拆对不会引起核状态突变;核子顺排释放的能量有利于其它玻色子再拆对;¹³⁸Ce 核的高自旋态属于两准质子转动带。

关键词:微观 sdIBM - 2 + 2q.p 方案;拆对;高自旋态;¹³⁸Ce 核

中图分类号: O571.22

文献标识码: A

A ~ 130 的稀土过渡性原子核有引人注目的高自旋结构。70 年代末 80 年代初,人们就注意到¹³⁸Ce 核的高自旋态^[1]。由于仅用较轻的 α, p 等入射粒子进行核反应,自旋态推得不够高,未发现任何集体转动态。最近,清华大学朱胜江教授等通过重离子核反应,采用在束 γ 谱的实验技术,进一步研究了¹³⁸Ce 核的高自旋态结构,寻找到基态带与单粒子带共存的 1 - 带和重要的 4 粒子集体转动 2 - 带与 3 - 带^[2]。

唯象 IBM 较成功地描述了中重核和重核的低角动量现象^[3]。为了将其应用于高自旋态物理,唯象地将其推广为 sdIBM - 1 + 2qp 模型^[4]。对于该模型,人们有三个物理细节还不甚清楚:一个是玻色子的突然拆对会使核的前后状态发生突变吗?另一个是拆对能量来自哪里和顺排释放的能量能补偿它吗?三是实验转动带应该是两中子顺排带还是两质子顺排带?由于核¹³⁸Ce 的开壳结构比较简单,仅有 1 个中子空穴玻色子和 4 个质子玻色子,使得分析理论计算值与实验值的对应变得较为容易,是一个深入了解核高自旋物理细节的好事例。

文献[5]曾借鉴唯象 sdIBM - 1 + 2q.p 模型的成功经验,应用微观 sdIBFM - 2 形式体系理论,构造了偶偶核的微观 sdIBM - 2 + 2q.p 模型方案,较成功地描述了三个核区^[6-7]、^{66, 68, 70}Ge^[8]、偶¹¹⁶⁻¹²²Xe^[9]、偶¹¹⁴⁻¹³⁰Xe^[10]

和¹⁶⁶Hf^[11]的高自旋现象。尽管这些应用当时未能阐明上述物理细节,但它已为我们进一步解开这个谜提供了理论依据。本文应用微观 sdIBM - 2 + 2q.p 方案计算¹³⁸Ce 核能谱的 1 - 带,试图揭示清楚拆对过程的能量关系并简要说明这三个物理细节。

1 理论方案

假设原子核中有一个玻色子,从强耦合的集体态中退耦为没有集体性的费米子对,继而拆对。并令拆对后的核子占据闯入轨道($g_{9/2}, g_{11/2}, h_{11/2}, i_{11/2}$)之一。余下的核子构成一个仍可用唯象 sdIBM - 2 近似描述的集体核芯,这就是所谓的唯象 sdIBM - 2 + 2q.p 模型。将微观 sdIBFM - 2 形式体系应用于它,得到描述偶偶核高自旋态的一个微观实现,微观 sdIBM - 2 + 2q.p 方案。下面仅简述必备知识,更详尽的内容请见文献[5]。

从价核子壳模型组态和价核子等效相互作用出发,一般地把价核子的壳模型哈密顿量写为:

$$H_t = H_t^{(n)} + H_t^{(p)} + H_t^{(m)} \quad (1)$$

应用广义 Dyson 展开技术,定义出 IBM 中的 s - 玻色子和 d - 玻色子;而后作态空间的合理截断;最后,可以把描述偶偶核高自旋态的玻色子-费米子总哈密顿量写成:

* 收稿日期:2002-06-11

基金项目:贵州省科学技术基金([2002]3025)、贵州省教育厅自然科学基金资助([2000]518)

作者简介:童红(1963-),女,贵州贞丰人,贵州民族学院副教授。主要研究方向为理论物理和医学物理。

$$h = h_{IBM-2} + h_f + V_{BF} + h_{mix} \quad (2)$$

这里 h_{IBM-2} 是普遍形式的 IBM-2 哈密顿量, h_f 是限制在自旋为 $(g_{5/2}, g_{11/2}, h_{11/2}, i_{11/2})$ 之一的闯入态上的等效费米子哈密顿量, V_{BF} 是玻色子-费米子相互作用项, h_{mix} 是基态带与两准粒子带的耦合项。

哈密顿量 h 的对角化空间被分为三类: ① 自旋为 J 的 IBM-2 态 $\alpha: | \alpha JM \rangle$ 大于组成的空间; ② 自旋为 K 的 IBM-2 态 α 与两中子准粒子态的直积: $| \alpha K, j_n^2 L; JM \rangle$ 大于组成的空间; ③ 自旋为 K 的 IBM-2 态 α 与两质子准粒子态的直积: $| \alpha K, j_p^2 L; JM \rangle$ 大于组成的空间。 h_{IBM-2} 在空间①中对角化得到正常态能谱; h 在空间②中对角化可得到中子高自旋态能谱; h 在空间③中对角化则得到质子高自旋态能谱。

2 计算结果和讨论

¹³⁸Ce 核的价核子组态是 $(1g_{7/2}, 2d_{5/2}, 1h_{11/2}, 2d_{3/2},$

$3s_{1/2},)^8(2d_{5/2}, 1g_{7/2}, 1h_{11/2}, 3s_{1/2}, 2d_{3/2},)^2$; 2 表 2 个中子空穴。按照上面的讨论, 拆对的质子应占据轨道 $(1h_{11/2})^2$; 拆对的中子空穴将占据轨道 $(1h_{11/2})^2$ 。下面的参数 $g_0^{(\sigma)}, G_2^{(\sigma)}, K^{(\sigma)}$ ($\sigma = n, p$) 及 $K^{(np)}$ 分别为: 同类价核子间的对力、四极对力、四极-四极力及中子-质子四极-四极力相互作用强度参数。选取的开壳单粒子能级^[9,10]和核子-核子等效相互作用强度参数列于表 1 和表 2。

表 1 价核子的单粒子能级 (MeV)

nlj	1g _{7/2}	2d _{5/2}	1h _{11/2}	2d _{3/2}	3s _{1/2}	nlj	2d _{5/2}	1g _{7/2}	1h _{11/2}	3s _{1/2}	2d _{3/2}
α	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
质子	0.00	0.54	1.90	3.24	3.47	中子	4.00	4.28	6.22	6.64	6.74

表 2 核子-核子等效相互作用强度参数 (MeV)

$g_0^{(n)}$	$G_2^{(n)}$	$K^{(n)}$	$g_0^{(p)}$	$G_2^{(p)}$	$K^{(p)}$	$K^{(np)}$
0.045	0	0.030	0	0.046	0	0.036
1	0.021	0	0.010	0	0.004	0

其有关的部分参数列于表 3、表 4。

表 3 中子 Q-玻色子结构常数 $X_{\alpha\beta}^{(mJM)}$

s-玻色子					d-玻色子										
(α, β)	(1, 1)	(2, 2)	(3, 3)	(4, 4)	(5, 5)	(1, 1)	(1, 2)	(1, 4)	(1, 5)	(2, 2)	(2, 5)	(3, 3)	(4, 5)	(5, 5)	
正常态	n + .1743, + .2194, + .7278, + .3189, + .5387,						+ .0569, - .0256, - .1384, + .0817, + .0754, - .1768, + .6358, - .5157, + .5130								
	p - .8880, - .3806, - .2337, - .0910, - .0603,						+ .9910, + .0615, - .0451, + .0887, + .0209, - .0331, + .0462, + .0148, + .0167								
2q.p.b	n + .1743, + .2194, + .7278, + .3189, + .5387,						+ .0555, - .0215, - .1280, + .0693, + .0713, - .1618, + .6490, - .4520, + .5644								
	p - .8880, - .3806, - .2337, - .0910, - .0603,						+ .9927, - .0538, - .0344, + .0858, + .0156, - .0236, + .0449, + .0144, + .0117								

这里 (α, β) 中的数字 α, β 分别是表 1 的能级序号。

表 4 玻色子总能量 E , 非扰动能量 E' 和结合能 BE (MeV)

状态	$E_s^{(n)}$	$E_d^{(n)}$	$E_s^{(p)}$	$E_d^{(p)}$	$E_s^{(n)}$	$E_d^{(n)}$	$E_s^{(p)}$	$E_d^{(p)}$	BE
正常态	-6.319 0	-4.804 3	6.879 0	7.812 6	-3.732 5	-3.954 0	8.392 1	7.982 5	20.913
高自旋态	-6.319 0	-4.739 0	6.879 0	7.818 8	-3.732 5	-3.987 6	8.392 1	7.977 2	34.607 (最小的)

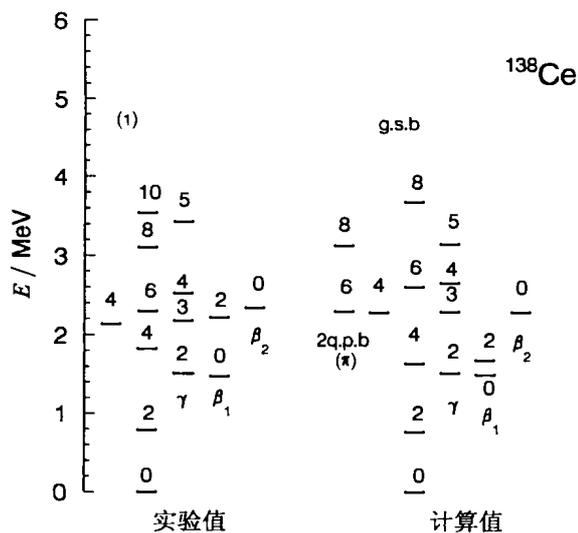


图 1 ¹³⁸Ce 能谱计算值与实验值^[1,2,13]的比较

由表 4 看到, 玻色子结合能包含有理想玻色子相干性提供的较多份额, 确保了低能集体激发态描述的成功。

一些作者也曾用唯象 IBM-2 模型^[11]、广义集体模型^[2]和唯象 IBM-1 模型^[12]研究过 ¹³⁸Ce 核的低能级结构。本文计算结果与观测结果符合得更好, 只 2_3^+ 态的计算值偏低 (见图 1), 这是 sdIBM-2 描述的系统偏差。本文在同一能级组态和用同一组参数, 同时计算出正常态 (基态带、 β -带与 γ -带) 和高自旋态 (两中子带与两质子带) 能谱。又一次证实所选用的单粒子能级值, 除了能很好地描述 Xe 同位素链外^[9,10], 也能较好地描述 ¹³⁸Ce 核, 是一组描述该壳层的可信能隙; 猜测甚至还可能会较好地描述 Ce 和 Te 同位素链。对能带的指认本文与文献^[12]稍有不同: ^[12]认为 0_3^+ 态是闯入态, 本文则指认是 β_2 -带头^[13]。至于 2_- 带与 3_- 带已不属本模型的

研究范畴。由于各种模型的哈密顿量结构的不同,无法直接比较,即便唯象 IBM-2 与微观 sdIBM-2 也是这样。作者注意到唯象 d-玻色子平均能量为 $1.06\text{MeV}^{[1]}$, 本文的 d-玻色子平均能量为 $(1.515 + 4 \times 0.934)/5 = 1.05\text{MeV}$, 完全一样, 应该不是巧合。

从表 3、表 4 还可看到:

1) 拆对前后, s-玻色子结构常数不变, d-玻色子的也只有少许改变, 可近似认为基态变化不大, 给计算拆对前后状态能量提供了统一的零能面。

2) 一旦 d-玻色子突然拆对, 拆对前后某些能量和玻色子结构常数都只有少许改变, 这就是一个玻色子突然拆对不会使前后状态发生突变的物理原因。

3) 一个玻色子从退耦、拆散、占据轨道到参加顺排, 所需要的能量至少是:

$$E_{\text{ain}} = (E_d^{(a)} - E_d^{(a)}) - E_d^{(a)} + 2(E_{\text{im}}^{(a)} - E_{\text{im}}^{(a)}) = 2(E_{\text{im}}^{(a)} - E_{\text{im}}^{(a)}) - E_d^{(a)} \quad (3)$$

这是相应玻色子拆对的能量判据。用判据(3)去检查过去的工作[8-11], 再次确认它们的正确性。对于某些核^[9,10], 质子的 E_{ain} 仅比中的小 $0.16 \sim 0.25\text{MeV}$, 在不同方案中出现不同的再现就很自然。对¹³⁸Ce 核, 一个中子空穴玻色子的 $E_{\text{ain}} = 8.604\text{MeV}$, 而一个质子玻色子的 $E_{\text{bp}} = 8.173\text{MeV}$, 显然在能量上有利于质子玻色子引起回弯。当拆对的两质子参与沿集体转动方向顺排时, 会释放出能量, 约 $34.607 - (20.026 + 8.173) = 5.581(\text{MeV})$, 部分补偿拆对能量; 足以使中子空穴玻色子拆对, 但不能占据轨道 $(1h_{11/2})^2$ 。粗略地讲, 只要核的初始角动量足够大, 如文献[2]所做的那样, 在质子玻色子获得足够的能量, $> 7.813\text{MeV}$, 将发生拆对并占据轨道 $(1h_{11/2})^2$; 质子顺势激发, 构成两质子转动谱; 中子空穴亦可能被激发形成单粒子谱或两中子空穴转动谱, 10_1^+ 态就可能是这种态^[1,2]。因而¹³⁸Ce 核的回弯现象是由 $\pi(h_{11/2})^2$ 引起的, 与¹¹⁸Xe 一样, 正如文献[1]猜测 $6_1^+, 8_1^+$ 态是质子激发态那样。看来很有可能偶 Ce, Xe 和 Te 同位素链的回弯现象也是由 $\pi(h_{11/2})^2$ 引起的。因此, 原子核的高自旋激发手段本身就要确保核具有较高的角动量, 提供足够的拆对能量, 这就是拆对能量的来源; 而顺排释放的能量部分补偿了它。

3 结论

综上所述, 在微观 sdIBM-2 + 2q.p 方案的框架内, 较好地再现了¹³⁸Ce 的低自旋态和两粒子态。对计算结果的仔细分析表明: (1) 在高自旋态的拆对中, 一个 d-玻色子的突然拆对, 不会造成状态突变, 而且 s-

-玻色子总不拆对。(2) 由于核的高速旋转带来的 Coriolis 作用, 使得具有两粒子激发带与基态带交叉的原子核只要出现一个玻色子拆对, 拆对核子参与转动顺排释放的能量能部分补偿拆对所需能量。(3) 从能量角度看, 拆对应该是 E_{ain} 最小的玻色子先发生, 例如这里的质子玻色子; 另一个玻色子拆对也是可能的, 例如这里的中子空穴玻色子; 但先拆对者不一定立即出现回弯现象, 要看基态带与两粒子转动带是否有带交叉。这样, 对受到质疑的问题作了简短说明。

参考文献:

- [1] BIANCO G LO, PARUZZI P, SCHMITTGEN K P, et al. Level in¹³⁸Ce by in-beam spectroscopy[J]. Nucl Phys, 1987, A470:266-284.
- [2] 朱胜江, 李明, 朱凌燕. ¹³⁸Ce 的高自旋态与扁椭集体转动带[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 1998, 19:311-313.
- [3] IACHELLO F, ARIMA A. The Interacting Boson Model[M]. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1987.
- [4] IACHELLO F. Physics of high-spin states in the Interacting Boson Model[J]. Nucl Phys, 1991, A522:83c-98c.
- [5] 桑建平, 刘庸. 偶偶核高自旋态的微观研究(I)理论方案[J]. 高能物理与核物理, 1994, 18:936-942.
- [6] 桑建平, 刘庸. 偶偶核高自旋态的微观研究(II)对同中子异荷素¹⁵⁴Dy、¹⁵⁶Er 和¹⁵⁸Yb 的应用[J]. 高能物理与核物理, 1994, 18:1020-1026.
- [7] 桑建平, 刘庸. 偶偶核高自旋态的微观研究(III)对同中子异荷素¹²⁶Ba、¹²⁸Ba 和¹³⁰Ba 的应用[J]. 高能物理与核物理, 1995, 19:87-92.
- [8] SANG J P, SHI Z Y, ZHANG Z J, et al. Structure of Ge Isotopes in the Microscopic Boson Model with Two-Quasiparticle States[J]. Chinese Journal of Nucl Phys, 1995, 19:12-15.
- [9] SHI Z Y, LIU Y, SANG J P. Microstructure on Collectivity in Even 116-122Xe Isotopes. Chinese Physics[J]. 2000, 9:9-12.
- [10] SHI Z Y, LIU Y, SANG J P. The nuclear structure and backbending phenomenon for ¹³⁸Xe isotopes [J]. Chinese Physics, 2001, 10:282-285.
- [11] 石筑一, 但汉久, 张战军, 等. 偶偶核¹⁶⁶Hf 高自旋态的微观描述[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 1998, 32:34-37.
- [12] 张进富, 朴在渊, 刘凤英. ¹²⁸⁻¹⁵⁰Ce 偶偶核的低能谱和电磁跃迁的相互作用玻色子模型[J]. 高能物理与核物理, 2000, 24:1066-1072.
- [13] SAKAI M. Atomic Data And Nuclear Tables[J]. 1984, 31:399-432.

(下转第 142 页)

Application of Low Intensity Ultrasound to Biotechnology

SHI Lan - chun, WANG Bo - chu, YANG Yan - hong, DAI Chuan - yun

(College of Bioengineering, Key Lab for Biomechanics & Tissue Engineering under the State Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Application of low intensity ultrasonic waves to the biotechnology is one of new and hot research fields. The physical mechanisms of ultrasound mainly include the effects of mass transfer, heating and cavitation. Many researchers found that low intensity ultrasonic waves could accelerate the interaction of substrate and help reactant to enter the active center of enzyme and production to leave center; it could also alter the permeability of membrane and enhance the transfer of mass, and so promote the production of beneficial matter and the absorption of drug to cells; in addition, it could raise the efficiency of cell metabolism and the growth of cells; so low intensity ultrasonic waves can be used in enzyme engineering, fermentation engineering, cell engineering and biological therapeutics of Neoplasm. In this paper, we reviewed the application of low intensity ultrasound to biotechnology at home and abroad.

Key words: low intensity ultrasonic waves; biotechnology; application

(责任编辑 李胜春)

(上接第 138 页)

Structure of Positive-parity Levels in ^{138}Ce Nucleus in Microscopic sdIBM-2 + 2q.p

TONG Hong, SHI Zhu - yi

(Department of Physics, Guizhou Institute for Nationalities, Guiyang 550025)

Abstract: In the view of microscopic interacting boson - fermion formalism, a microscopic realization, microscopic sdIBM - 2 + 2q.p approach has been formed for phenomenological IBM - 1 + 2q.p model. It is used successfully to describe the ground state band, β - band, γ - band and partial two quasi - particle band for ^{138}Ce nucleus. It can explain the recent experimental result that collective structure may coexist with the single - particle states in ^{138}Ce nucleus. From that model, it may be calculated that minimum energy is needed by it, and a boson is made appearance firstly from decoupling, then breaking pair, in turn occupying intrusion orbit and finally jointing alignment. The microscopic information calculated shows that when broken pair of a boson takes place suddenly, no significant change of states between foremost state and latter state is caused by broken pair; the energy related by nucleons in alignment is favorable to other boson's broken pair, and the high - spin states of ^{138}Ce nucleus reproduced belong to two quasi - proton rotational band.

Key words: microscopic sdIBM - 2 + 2q.p approach; broken pair; high - spin states; ^{138}Ce nucleus

(责任编辑 张小强)