

## $^{125}\text{Ba}$ 高自旋态的测量\*

孙相富 余坚芳 郭应祥 雷相国 罗亦孝 王积成 徐晓冀

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

温书贤 翁培焜 李生岗 杨春祥

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

### 摘 要

通过  $^{109}\text{Ag}(^{19}\text{F}, 3n)$  核反应布局了  $^{125}\text{Ba}$  核的激发态。使用带 BGO 康普顿抑制的高纯锗探测器阵列和常规在束  $\gamma$  实验技术, 测量了它的高自旋态。建立在  $h_{11/2}$  中子支壳上的负宇称带和建立在  $g_{7/2}$  中子支壳上的正宇称带分别被延伸到了  $35/2^-$  和  $23/2^+$  态。负宇称带显示出明显的正负 Signature 劈裂, 而正宇称带则几乎没有这种劈裂。负宇称正负 Signature 带均出现反弯, 其反弯处转动频率与  $^{124}\text{Ba}$  晕带反弯频率相近。正宇称带也开始出现反弯迹象。

### 一、引 言

质量数  $A \sim 130$  的 Xe-Ce 核, 处于从球形核向稳定形变核的过渡区。其特点之一就是质软, 激发的准粒子容易把原子核极化, 发生三轴形变。在这些核中, 由于其中子和质子都处于  $h_{11/2}$  支壳, 当原子核被激发和高速转动时,  $h_{11/2}$  支壳的中子和质子均有可能产生转动排列并互相竞争。在  $^{130, 128, 126}\text{Ba}^{[1-3]}$  等核中, 都已确实观测到了有两个正宇称的超带与基态带交叉而产生反弯, 其反弯频率相近, 很难确切指定哪个带是由一对  $h_{11/2}$  中子顺排形成的, 哪个带是由一对  $h_{11/2}$  质子顺排形成的。因此, 为了研究在  $^{124}\text{Ba}$  中也可能出现的  $h_{11/2}$  中子质子转排竞争并能可靠指定其中子或质子属性, 同时测量了其相邻奇  $A$  核  $^{125}\text{Ba}$  的高自旋态结构。在本实验工作进行之前,  $^{125}\text{Ba}$  核已被用  $^{116}\text{Sn}(^{12}\text{C}, 3n)$  反应和在束  $\gamma$  测量技术做过较充分细致的研究<sup>[4]</sup>, 观测到了一个最高到  $27/2^-$  的负宇称带和一个最高到  $19/2^+$  的正宇称带, 并把它们分别指定为是基于  $h_{11/2}$  支壳和  $g_{7/2}$  支壳的中子空穴态上。近来, Martin 等<sup>[5]</sup>对  $^{125}\text{Ba}$  做了新的测量, 负宇称带的高自旋态得到了延伸, 而正宇称带由于布局很弱, 没有得到任何新信息。我们的实验结果, 确证了 Martin 对  $^{125}\text{Ba}$  负宇称带高自旋态的延伸, 同时还观测到了正宇称带更高自旋的态。

本文 1991 年 2 月 26 日收到

\* 国家自然科学基金项目。



604, 731 和 826 keV 跃迁作窗的拉门谱中, 均有清晰的 858 keV 峰。 而用 858 keV 开窗的拉门谱中, 上述能量均为很强的峰。 从这些跃迁间规律的能级间隔和强度变化, 不难看出 858 keV 跃迁是属于这一串  $E2$  跃迁的。 在以 826 keV 开窗的拉门谱中[图 2(a)], 有 621 keV 的峰, 这与以 739, 846 keV 为窗的拉门谱中有 785 keV 的峰一起, 可以确定 785 keV 应是由  $29/2^-$  向  $25/2^-$  的跃迁。 特别应该指出的是在所有的 451, 604, 731, 826 和 858 keV 峰为窗的拉门谱中, 均有一个强度相对较大, 分布较宽的 399 keV 峰和一个强度大大衰减了的 795 keV 峰。 399 keV 峰分布宽, 强度大可能是由于多重线造成的<sup>[5]</sup>, 而 795 keV 峰的强度减弱则可能是由于能级结构变化造成的。 实验没能肯定地直接识别出从  $33/2^-$  向  $29/2^-$  能级的 636 keV 跃迁。

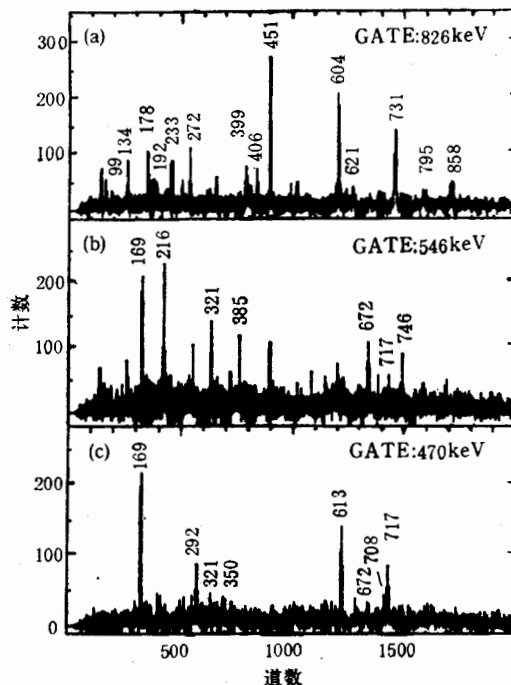


图 2 对  $^{109}\text{Ag}(^{19}\text{F}, 3n)^{122}\text{Ba}$  反应, 束流能量 75 MeV 测得的部分  $\gamma$ - $\gamma$  符合谱。  
相应的符合本底谱已经被扣除

在正宇称带上, 用已知的 169, 216, 470, 546, 613 和 672 keV 峰为窗的拉门谱中[图 2(b), (c)], 均能识别出两个新的跃迁 708 和 746 keV 峰。 在 470 keV 开窗的谱中, 708 keV 峰强度约为 717 keV 峰的 50%, 在 546 keV 开窗的谱中, 746 keV 峰强度约为 672 keV 峰的 40%。 而且在 546 和 672 keV 峰开窗的拉门谱中, 746 keV 峰强度比 708 keV 峰强, 在 470, 613 keV 峰开窗拉门谱中, 708 keV 峰强度比 746 keV 峰强。 在 717 keV 峰开窗的拉门谱中, 有强的 708 keV 峰, 而没有 746 keV 峰。 在用 746 keV 峰开窗的拉门谱中, 则既没有 717, 也没有 708 keV 峰。 上述这些实验证据, 都支持把 708 keV 和 746 keV 跃迁分别指定为是从  $23/2^+$  向  $19/2^+$  和从  $21/2^+$  向  $17/2^+$  的跃迁。 由于 708, 717 和 746 keV 跃迁均很弱或为双重线, 对它们无法得到可靠角分布测量数据, 上述自旋主要由系统性考虑给出。 应该指出, 对于 708 keV 跃迁确定的  $23/2^+$  能级, 似乎有些破坏了正宇称带

正负 Signature 无劈裂的规律,即 708keV 跃迁能量偏低。但这与  $^{129}\text{Ba}$  中从  $23/2^+$  能级开始,出现明显的正负 Signature 能级间隔起伏是一致的,可是与在  $^{127}\text{Ba}$  中无明显能级间隔起伏又是矛盾的<sup>[4]</sup>。由于尚无  $^{125}\text{Ba}$  的更高自旋能级被识别,所以对此还不能做出肯定结论。如同文献[4]一样,没能观测到联接正负宇称带之间的跃迁,也不清楚这两个带是如何向  $^{125}\text{Ba}$  的基态退激的,所以这两个带能级的相对高低位置也不得而知。Mueller<sup>[7]</sup> 用在线激光谱学方法确定了  $^{125}\text{Ba}$  核的基态自旋是  $1/2^+$ 。从对低能内转换电子谱的测量,确定了一个 67keV 能量的  $E1$  跃迁,它是从  $7/2^-$  向  $5/2^+$  的跃迁。这个在  $^{125}\text{Ba}$  中成为基态的  $5/2^+$  能级,在  $^{125}\text{Ba}$  中大约在基态之上 20keV。图 1 中的能级能量是在采用了这些数据之后给出的。图 1 中用虚线标出的跃迁不是在本实验中直接观测到的。

### 三、结果讨论

对奇  $A$  核  $^{129,127,125}\text{Ba}$  测量的非常复杂的能级结构有人曾用三轴转子加准粒子模型成功地进行了解释<sup>[8,9,4]</sup>。奇  $A$  核的高自旋态带结构可以看成是相应偶-偶核的某些带结构与单个中子能级耦合的结果,所以应该带有相应偶-偶核的某些特征。在  $A = 122-130$  的 Ba 的偶-偶核中,均观测到了与基态带交叉的两个正宇称超带。而对于 Ba 的奇  $A$  核来说,由于有一个最外层的未配对的奇中子存在,所以它会使相应偶-偶核中本来可能发生的一对中子的转动排列受阻,从而把偶-偶核中可发生一对中子转动排列的转动频率比相应偶-偶核的情况要提高,即发生所谓的阻塞效应 (Blocking)。但对于质子,在奇  $A$  偶  $Z$  核中的情况与相应偶-偶核的情况差别则很小。因此,比较相邻奇  $A$  核与偶-偶核能带结构特性,对理解偶-偶核能级结构是很有帮助的。参照文献[10]建议的方法,从实验测得的能级结构图 1,可以提取出在转动坐标系中的总能量  $E'(I)$ ——实验 Routhian

$$E'(I) = \frac{1}{2}[E(I+1) + E(I-1)] - \omega(I)I_x(I), \quad (1)$$

其中  $E(I+1)$  和  $E(I-1)$  是角动量为  $(I+1)$  和  $(I-1)$  的能级的能量,它们的平均值取作是角动量为中间值  $I$  的能级能量  $E(I)$  的近似值。转动频率  $\omega(I)$  定义为:

$$\omega(I) = \frac{E(I+1) - E(I-1)}{I_x(I+1) - I_x(I-1)}, \quad (2)$$

$I_x(I)$  是角动量  $I$  沿转动轴  $X$  上的投影

$$I_x(I) = \sqrt{\left(I + \frac{1}{2}\right)^2 - K^2}, \quad (3)$$

$K$  是角动量在对称轴上的投影,通常可取作带头角动量。所以对  $^{125}\text{Ba}$  的负宇称带,取  $K = 7/2$ 。而对于正宇称带,虽然观测到的最低能级自旋为  $5/2^+$ ,但正如文献[4]指出的那样,从  $9/2^+$  向  $5/2^+$  跃迁的 385 keV 峰强度比从  $17/2^+$  向  $13/2^+$  和从  $13/2^+$  向  $9/2^+$  的跃迁 672keV 和 546keV 弱得多,  $5/2^+$  能级并不是这个带的成员。所以,对于这个正宇称带,计算中也取  $K = 7/2$ 。相邻偶-偶核  $^{125}\text{Ba}$  的基态带被取作能量和角动量的参照系  $E'_g(\omega)$  和  $I'_g(\omega)$ 。由 Harris 公式

$$I'_g(\omega) = (\mathcal{J}_0 + \omega^2 \mathcal{J}_1)\omega, \quad (4)$$

$$E'_g(\omega) = -\int I'_g(\omega) d\omega = -\frac{1}{2} \omega^2 \mathcal{F}_0 - \frac{1}{4} \omega^4 \mathcal{F}_1 + \frac{1}{8} \hbar^2 \mathcal{F}_0^{-1}, \quad (5)$$

求得  $\mathcal{F}_0 = 13.9 \hbar^2/\text{MeV}$ ,  $\mathcal{F}_1 = 62.7 \hbar^2/\text{MeV}^3$ . 这样便可以获得对奇  $A$  核准粒子的实验 Routhian  $e'(\omega)$  和排列角动量  $i(\omega)$ :

$$e'(\omega) = E'(\omega) - E'_g(\omega) + \Delta, \quad (6)$$

$$i(\omega) = I_X(\omega) - I'_g(\omega), \quad (7)$$

其中  $\Delta$  为奇-偶质量差, 取作  $1.3 \text{ MeV}$ . 其结果示于图 3. 从图 3(a) 中可以看出, 对于负

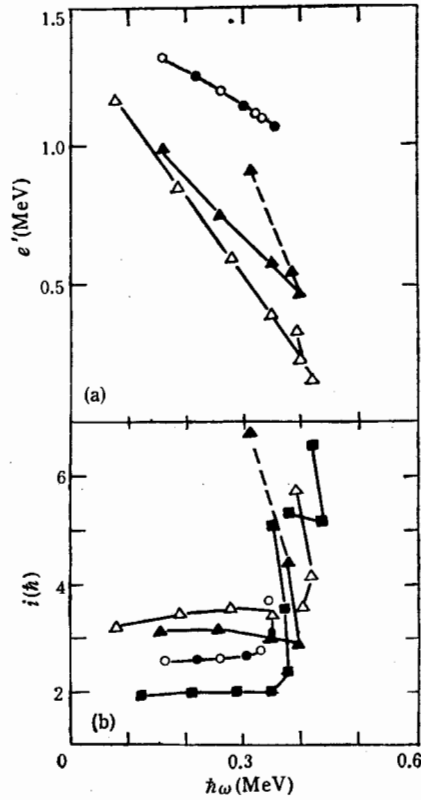


图 3

(a)  $^{125}\text{Ba}$  准粒子的实验 Routhian

$h_{11/2}$  带:  $\Delta(-,-)$ ,  $\blacktriangle(-,+)$ .  $g_{7/2}$  带:  $\circ(+,-)$ ,  $\bullet(+,+)$

(b)  $^{125}\text{Ba}$  正负宇称带与  $^{124}\text{Ba}$  晕带(■)排列角动量的比较

宇称带, 正负 Signature 劈裂很明显. 而正称带则几乎看不出这种劈裂. 这是  $A \sim 130$  区奇  $A$  核的一个普遍特征. 图 3(b) 示出的是排列角动量  $i(\omega)$ . 为了与  $^{124}\text{Ba}$  核比较, 在图 3(b) 中也画出了  $^{124}\text{Ba}$  晕带的情况<sup>[11]</sup>. 建立在  $^{125}\text{Ba}$   $h_{11/2}$  中子空穴上的负宇称带的正负 Signature 分支都有明显反弯. 这时, 因为中子的转动排列被  $h_{11/2}$  轨道上的奇中子阻塞, 所以在其偶-偶核实中最可能的是一对  $h_{11/2}$  质子发生转动排列. 从  $^{125}\text{Ba}$  负宇称带反弯频率与  $^{124}\text{Ba}$  晕带反弯频率  $\omega = 0.37 \text{ MeV}$  基本一致, 顺排角动量  $7-8\hbar$  与  $^{124}\text{Ba}$  晕带的  $6.5\hbar$  相近<sup>[5]</sup>, 可以令人信服地相信,  $^{124}\text{Ba}$  晕带反弯是由一对  $h_{11/2}$  质子顺排造成.

建立在  $^{125}\text{Ba}$   $g_{7/2}$  中子空穴上的正宇称带, 由于布局困难, 高自旋态未能很好建立. 但

从图 3 (b)也可以看出,在相近的频率上已开始反弯,这也应是由于一对  $h_{11/2}$  质子顺排的结果,更肯定的结论则需要测到更多的能级后才能给出。

### 参 考 文 献

- [1] Sun Xiangfu, et al., *Phys. Rev.*, **C28**(1983), 1167.
- [2] K. Schiffer, et al., *Z. Phys.*, **A313**(1983), 245.
- [3] K. Schiffer, et al., *Z. Phys.*, **A323** (1986), 487.
- [4] J. Gizon, et al., *Z. Phys.*, **A285**(1978), 259.
- [5] J. P. Martin, et al., *Nucl. Phys.*, **A489**(1988), 169.
- [6] 郭应祥等,高能物理与核物理, **14**(1990),635.
- [7] A. C. Mueller, et al., *Nucl.Phys.*, **A403**(1983), 234.
- [8] J. Gizon, et al., *Nucl. Phys.*, **A277** (1977), 464.
- [9] J.Gizon, et al., *Z. Phys.*, **A281**(1977), 99.
- [10] R. Bengtsson and S. Frauendorf, *Nucl. Phys.*, **A327**(1979), 139.
- [11] 孙相富等,近代物理所 1990 年年报.

## Measurement of $^{125}\text{Ba}$ High Spin States

SUN XIANGFU YU JIANFANG GUO YINGXIANG LEI XIANGGUO

LUO YIXIAO WANG JICNEHG XU XIAOJI

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

WEN SHUXIAN WENG PEIKUN LI SHENGGANG YANG CHUNXIANG

(*Institute of Atomic Energy, Beijing 102413*)

### ABSTRACT

The high spin states of  $^{125}\text{Ba}$  populated via the  $^{109}\text{Ag}(^{19}\text{F}, 3n)$  reaction are measured by using a BGO Compton suppressed HPGe detector array. The negative and positive parity bands built respectively on the  $h_{11/2}$  and  $g_{7/2}$  neutron hole states are extended to  $35/2^-$  and  $23/2^+$ . Backbending occurs in both signature branches of the negative band at the frequencies close to that of the  $^{124}\text{Ba}$  yrast band. An onset of backbending in the positive band has been seen