

磁转动带研究*

温书贤¹ 韩广兵¹ 吴晓光¹ 刘祥安¹ 李广生¹ 袁观俊¹
王治民¹ 翁培昆¹ 杨春祥¹ 马英君² 陆景斌² 郭应祥³ 雷祥国³

1(中国原子能科学研究院 北京 102413)

2(吉林大学物理系 长春 130023)

3(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 介绍了原子核高自旋态的磁转动带结构实验证据,理论模型及在北京串列加速器上⁸⁴Rb磁转动带的研究.

关键词 高自旋态 磁转动 倾斜轴推转壳模型

1 引言

高自旋态的研究是近二十年来核物理研究中较前沿也是一直较兴旺的研究领域,尤其在超形变带发现后使高自旋态的研究成为国际核物理的热门研究课题之一.随着高自旋态研究的广泛和深入进行,除超形变研究外还出现很多有意义的研究课题.其中磁转动研究近几年格外受到关注,引起了实验核物理学家和理论物理学家的极大兴趣,成为高自旋态研究中的前沿课题之一.在实验研究中,首先在Pb区观察到了磁转动带,接着在质量数140, 100, 80区都观察到磁转动带.在理论上用倾斜轴推转壳模型TAC(Tilted-Axis-Cranking)进行了计算和解释,与实验符合得很好.

2 磁转动带的实验证据

在高自旋态的实验研究中人们发现在一些形变不太大($\epsilon_2 \approx 0.1$)的原子核能谱中存在一串跃迁强度较大的 $\Delta I=1$ 的M1跃迁.这些M1跃迁与我们在高自旋态研究中通常情况下观察到的M1跃迁不同.首先,这一串 γ 跃迁的能量非常规律具有转动的特性.如果分析这些能级的Routhain和顺排Alignment会发现这些能级基本上没有signature劈裂,这些都与大形变核中高K转动带结构非常类似.其次,它们的实验约化跃迁几率 $B(M1)$ 值大大地增强,可高达几

* 国家自然科学基金(19635030),核工业基金(Y7197A0109)和973国家重点基础研究发展规划项目(G20000774-05)资助

个 μ_n^2 单位. 再次, 这些能级的电与磁的约化跃迁几率 $B(M1)/B(E2)$ 比值很大, 并随角动量的增大而减少. 与 M1 跃迁相比较 E2 跃迁很弱, 在有些核中或者观察不到, 这又与形变较大的核的高 K 带不同, 这说明该带的形变很小. 最后, 该带的转动惯量 $J^{(2)}$ 与 $B(E2)$ 比值比正常形变带和超形变带都大, 可大到十倍以上^[1]. 实验磁转动证据首先在 Pb 区的一些核中发现. 如: $^{199,200}\text{Pb}$ 等核^[2], 继而在 $A \sim 100$ 核区如 ^{105}Sn ^[3] 和 ^{108}Sn ^[4] 等核, 以及质量数 140 区的 ^{149}Sm ^[5] 核. 近两年在 80 区的奇奇核中也观察到了磁转动, 如: $^{82,84}\text{Rb}$ ^[6,7] 核.

3 磁转动的理论模型

与通常情况下所研究的形变核的转动带的概念不同. 磁转动是一种新的激发模式. 它借助于一种新的称为“closing shear”的机制给予解释^[8]. 通常说的转动带是形变的电荷分布引起的, 而磁转动是由磁偶极子绕核的总角动量矢量转动顺排形成. 磁转动带角动量的增加是由高 Ω 粒子组态和低 Ω 的空穴组态再取向顺排产生的. 这两个自旋矢量类似一把张开的剪刀, 并且慢慢地合起来的方式转动顺排产生该带中高角动量态. 倾斜轴推转壳模型(TAC)^[9] 提供了磁转动理论解释的框架. 该转动不是绕核的基本轴而是绕核的总角动量, 核的总角动量与对称轴有一个夹角. 如图 1 所示. 因为质子粒子和中子空穴矢量有一个很大的夹角, 当它们耦合时会产生很大的磁偶极矩(μ)及垂直于总角动量的分量(μ_{\perp}). 当 j_{π} 和 j_{ν} 顺排时总角动量增加, 磁偶极矩的垂直分量 μ_{\perp} 以一种特有的方式减少. 因为磁偶极约化跃迁几率 $B(M1)$ 是正比 $(\mu_{\perp})^2$ 的, 所以 $B(M1)$ 也以一种特殊的方式随角动量增加而减少. 正如在实验中观察的现象一样.

磁转动带的激发能遵从 $\Delta E(I) = E(I) - E(I_b) \sim A(I - I_b)^2$. 在 Pb 区磁转动带是由 $h_{9/2}$ 或 $i_{13/2}$ 轨道的质子首先耦合成 j_{π} , 由 $i_{13/2}$ 的中子轨道空穴耦合成 j_{ν} . j_{π} 和 j_{ν} 再取向顺排产生带中的高角动量态. 而在质量数 100 区核, $h_{11/2}$ 轨道的中子粒子和轨道质子空穴耦合成转动偶极矩.

进一步的理论分析一是认为, 当本征形变破坏了球对称时就出现了磁转动. 也就是核子流分布的各向异性破坏了核的对称性. 另一种解释为 n-p 剩余相互作用.

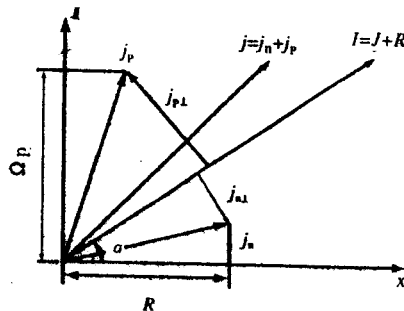


图 1 磁转动机理的示意图

4 ^{84}Rb 的磁转动带

通过重粒子熔合蒸发反应 $^{70}\text{Zn}(^{18}\text{O}, p3n)$,研究了 ^{84}Rb 核的高自旋态磁转动。 ^{84}Rb 核的高自旋态及 Yrast 带的 signature 劈裂及反转已分别发表^[10,11]. 部分纲图如图 2 所示. 其中 C 带和 E 带表现了磁转动带特征. 因为 E 带没有观察到 E2 跃迁, 所以没有得到 $B(M1)/B(E2)$ 比值. 这里给出了 C 带的 $B(M1)/B(E2)$ 比值及 Routhians. 如图 3 和图 4, 它们的 Routhians 图显示没有 signature 劈裂. 我们抽取了该带的 $B(M1)/B(E2)$ 比值, 由于 E2 很弱, 该比值的误差仍比较大, 但该比值的趋势显示随自旋增加减少, 以上事实表明该带具备了磁转动带的特性.

对 $Z=37$ 和 $Z=39$ 的原子核, $p_{1/2}$, $p_{3/2}$, $f_{5/2}$ 或者 $g_{9/2}$ 子壳可能被占据, 为了产生负宇称 $4qp$ 态, 一个额外的核子对得拆对. 假设一对质子拆对, 那么, 当质子数为 37 时 $p_{1/2}$, $p_{3/2}$, $f_{5/2}$ 或者 $g_{9/2}$ 子壳可能被占据, 那时一个负宇称集团 (Cluster) 可能通过一个不配对粒子进到 $g_{9/2}$ 子壳. 由于最低的 $g_{9/2}$ 准质子轨道泡里阻塞, 产生这种高自旋态则需要更高激发能. 因而准质子最可能耦合成一个 $(p_{3/2}, g_{9/2})$ 或者 $(f_{5/2}, g_{9/2})$ 具有自旋 5^- 或 6^- 态, 而这个 Cluster 有可能进一步耦合成 $2qp$ 组态 $(\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2})$ 的 $6^+, 7^+, 8^+, 9^+$ 态, 形成在自旋范围 $11^-, 12^-, 13^-, 14^-, 15^-$ 等 $4qp$ 态. 中子数为 47 时, 一对 $p_{3/2}$ 或者 $f_{5/2}$ 中子拆对, 且拆对后一个中子进到 $g_{9/2}$ 子壳比一对质子拆对并进入子壳需要多的多的能量, 一对中子拆对的假设是不太可能的, 所以该带假设的 4 准粒子态是 $\pi(g_{9/2})^2 \otimes \pi(p_{3/2}, f_{5/2}) \otimes \nu(g_{9/2})$, 而带头为 11^- 的一系列 M1 跃迁.

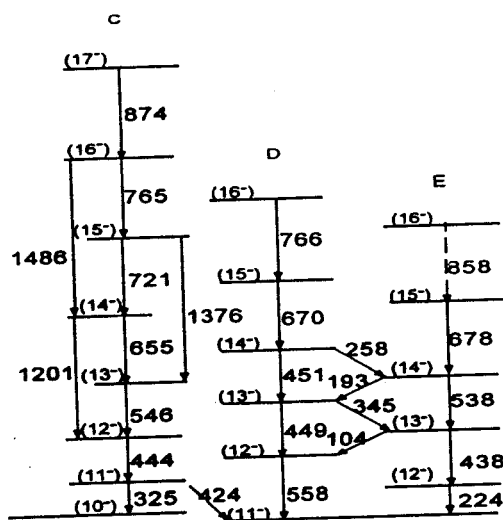


图 2 ^{84}Rb 磁转动带的 Routhians 值

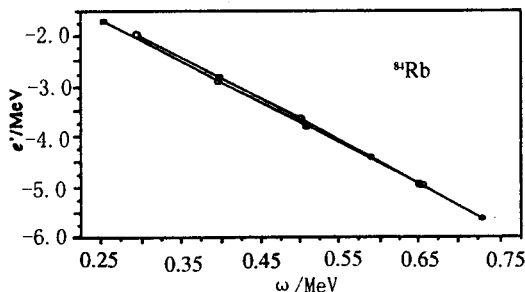


图 3 ^{84}Rb 磁转动的带的 Routhians 值

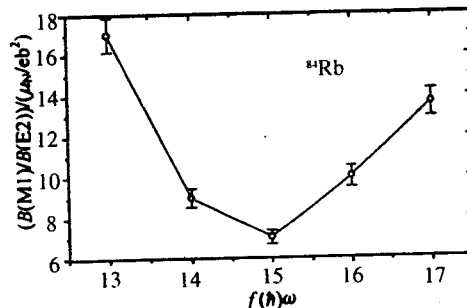


图 4 ^{84}Rb 磁转动带 $B(M1)/B(E2)$ 比值

参考文献(References)

- 1 Hble H, Baldsiefen G, Clark R M et al. Z. Phys. , 1997, A358:237 - 238
- 2 Baldsiefen G, Hble H, Kortzen W et al. Nucl. Phys. , 1994, A574:521 - 558
- 3 Gadea A, de Angelis G, Fahlander C et al. Phys. Rev. , 1997, C55:R1 - R4
- 4 Jenkins D G, Wadaworth R, Cameron J et al. Phys. Rev. , 1998, C58:2703 - 2709
- 5 Fallo Panl. Nucl. Phys. , 1998, A630:257c - 267c
- 6 Doring J, Ulrich D, Johns G D et al. Phys. Rev. , 1999, C59:71 - 81
- 7 Schnare H, Schwengner R, F Frauendorf S et al. Phys. Rev. L lett. , 1999, 82:4408 - 4411
- 8 Frauendorf S. Z. Phys. , 1997, A358:163 - 167
- 9 Frauendorf S. Nucl. Phys. , 1993, A557:259c - 276c
- 10 HAN Guang-Bing, WEN Shu-Xian, WU Xiao-Guang et al. Chin. Phys. Lett , 1999, 16(7):487 - 489
- 11 HAN Guang-Bing, WEN Shu-Xian, LIU Xiang-An et al. High. Ener. Phys. and Nucl. Phys. , 1999, 23(9): 890 - 896(in Chinese)
(韩广兵,温书贤,刘祥安等. 高能物理与核物理, 1999, 23(9):890 - 896)

Study of Magnetic Rotational Band *

WEN Shu-Xian¹ HAN Guang-Bing¹ WU Xiao-Gang¹ LIU Xiang-An¹
 LI Guang-Sheng¹ YUAN Guan-Jun¹ WANG Zhi-Min¹ WENG Pei-Kun¹
 YANG Chun-Xiang¹ MA Ying-Jun² LU Jing-Bin² GUO Ying-Xiang³ LEI Xiang-Guo³

1 (Department of Nuclear Physics, China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

2 (Department of Physics, University of Jilin, Changchun 130023, China)

3 (Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract The experimental research of magnetic rotational band and relative theoretical module were introduced briefly in this paper. Two magnetic rotational bands in ⁸⁴Rb were reported and discussed. Experimental routhians are given. They are show no signature splitting. The $B(M1)/B(E2)$ ratio was extract for one band.

Key words high spin states, magnetic rotation, tilted axis cranking model

* Supported by National Natural Science Foundation of China(19635030), Science Foundation of Chinese Nuclear Industry (Y7197A0109) and Major State Basic Research Development Program and Contract(G20000774 - 05)