

^{152}Gd 核高自旋态的研究*

华辉^{1,1)} 王硕¹ 孟杰¹ 李智焕¹ 张双全¹ 许甫荣¹ 刘红亮¹ 周善贵^{2,3} 叶沿林¹
江栋兴¹ 郑涛¹ 竺礼华⁴ 吴晓光⁴ 李广生⁴ 王全进¹ 陈志强¹ 吴翠娥¹ 张高龙¹
庞丹阳¹ 王佳¹ 楼建玲¹ 郭彬¹ 金戈¹ 温书贤⁴ 贺创业⁴ 崔兴柱⁴ 刘颖⁴

1(北京大学物理学院和教育部重离子物理重点实验室 北京 100871)

2(中国科学院理论物理所 北京 100080)

3(兰州重离子加速器国家实验室 兰州 730000)

4(中国原子能科学研究院核物理所 北京 102413)

摘要 利用 $^{148}\text{Nd}(^9\text{Be}, 5\text{n})^{152}\text{Gd}$ 重离子熔合蒸发反应, 对 ^{152}Gd ($Z=64, N=88$) 核的高自旋态进行了研究. 在 ^{152}Gd 核中发现了 10 多个新的高自旋能级和一个新的 S 带结构. 实验中首次观察到 ^{152}Gd 核完整的第一个带交叉, 与推转壳模型计算结果和邻近核实验结果的比较显示带交叉是由一对 $i_{13/2}$ 中子的顺排造成的. 通过对 ^{152}Gd 核运动学转动惯量的分析, 得到 ^{152}Gd 核的形状随着自旋变化的实验证据.

关键词 高自旋态 ^{152}Gd 形状变化 带交叉 熔合蒸发反应

1 引言

对于质量在 150 附近的轻稀土区核, 由于存在丰富的核结构现象, 引起了实验和理论工作者极大的兴趣. 一些研究表明 ^{154}Gd 和 ^{156}Dy 核是 $SU(3)$ 到 $U(5)$ 相变的 $X(5)$ 临界点核^[1-3]. 但是最近在对 ^{154}Gd 核的邻近同位素 ^{152}Gd 的研究中发现, 它的转晕带内能级能量的比 $R_{1/2}$ 与 $E(5)$ 对称性模型的计算结果符合得很好, 而与 $X(5)$ 对称性模型的计算结果符合得不好^[4]. 此外, 实验测得的 ^{152}Gd 核 $B(E2)$ 值与 $E(5)$ 和 $X(5)$ 对称性模型的计算结果符合得都不好^[4]. 在 Gd 同位素链中所观察到的原子核性质的不一致性显示了这个质量区中原子核形状相变的复杂性. 本文介绍利用 $^{148}\text{Nd}(^9\text{Be}, 5\text{n})^{152}\text{Gd}$ 熔合蒸发反应对 ^{152}Gd 核高自旋态开展的研究工作.

2 实验

实验是在中国原子能科学研究院(CIAE)的 HI-13 串列静电加速器上进行的, 通过 $^{148}\text{Nd}(^9\text{Be}, 5\text{n})^{152}\text{Gd}$ 熔合蒸发反应生成 ^{152}Gd 核的高激发态. 退激的 γ 射

线由 14 个带 BGO 反康的高纯锗探测器测量. 实验共记录了 $\approx 1.1 \times 10^8$ 个两重和两重以上的 γ - γ 符合事件. 利用 Radford 程序^[5] 对实验数据进行了分析并建立起 ^{152}Gd 核的能级纲图. 为得到取向核态的方向关联强度(DCO)比率以确定 γ 跃迁的多极性, 建立了二维方向关联矩阵.

3 结果与讨论

图 1 给出了实验所得到的 ^{152}Gd 核部分能级纲图. 与以前的实验结果相比^[6-8], ^{152}Gd 核的基带由自旋 16^+ 扩展到 20^+ ; 8 极带由自旋 17^- 扩展到 21^- ; β 带由自旋 10^+ 扩展到 16^+ . 两个新发现的能级加到了由 Zolnowski 等人^[8] 建立的奇自旋正宇称顺排带中. 通过与 ^{152}Gd 核基带中自旋 16^+ 以下的已知 γ 跃迁的符合, 两个能量分别为 604.8 和 639.7keV 的 γ 跃迁被首次观察到. 基于 DCO 强度比分析, 把 4.748 和 5.387MeV 这两个与新跃迁相关能级的自旋和宇称暂时分别赋予 18^+ 和 20^+ . 与邻近同位素 ^{154}Gd 核结构的比较使我们相信 4.748 和 5.387MeV 能级可能属于一条被顺排的二准中子带.

* 国家自然科学基金项目(10405001, 10475002, 10475003, 10221003)和国家重点基础研究发展规划项目(G2000077400)资助

1) E-mail: hhua@hep.pku.edu.cn

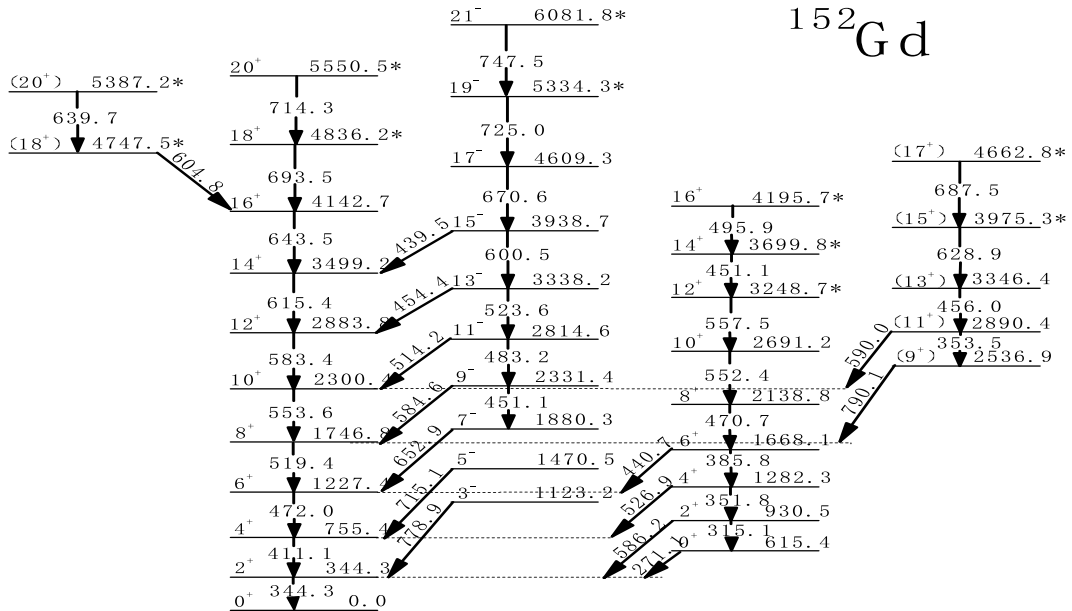


图1 ^{152}Gd 的部分能级纲图
能量单位为keV, 带星号的为本实验新发现的能级.

图2给出 ^{152}Gd 和 ^{154}Gd 核中基带和转晕带的转动惯量随着转动频率的变化曲线. 为了确定带交叉的起源, 图2中还包括了 ^{153}Gd 核中基于 $\nu i_{13/2}$ 组态带和 ^{153}Tb 核中基于 $\pi h_{11/2}$ 组态带的转动惯量随着转动频率的变化曲线. 由图2可以看到, 随着转动频率的增加, ^{152}Gd 和 ^{154}Gd 核基带转动惯量值由差别较大逐渐趋于一致. ^{152}Gd 和 ^{154}Gd 核有着不同的四极形变 ($\beta_2=0.205, 0.234^{[9]}$), 因而它们基带转动惯量在转动频率较小时的不同很可能是由于它们不同的四极形变造成的. 同时由于 ^{152}Gd 核处在核形变过渡区, 它的内部结构很容易随着核的快速转动而发生改变, 特别是当处于高 j 闯入能级的核子对发生顺排时. 利用推转壳模型对 $^{152,154}\text{Gd}$ 核在不同转动频率下的TRS进行了计算. 计算结果显示当转动频率从0.20MeV增加到0.40MeV时, ^{152}Gd 核的四极形变已由0.205变到0.222. 与此同时, ^{154}Gd 核的四极形变却比较稳定. 在带交叉区, ^{152}Gd 和 ^{154}Gd 核之间四极形变的差别减小了. 因而在带交叉区域所观察到的 ^{152}Gd 和 ^{154}Gd 核相近的转动惯量值很可能是它们相似四极形变的体现.

在文献[10]中, ^{154}Gd 核中发生的第一个带交叉被归因于一对 $i_{13/2}$ 中子的顺排. 从图2中可以看到 ^{152}Gd 核和 ^{154}Gd 核在相同的转动频率位置发生了带交叉, 并且在 ^{153}Gd 核基于 $\nu i_{13/2}$ 组态的带中存在阻塞现象, 而在 ^{153}Tb 核中基于 $\pi h_{11/2}$ 组态的带中看到了带交叉. 这些特点显示同样也是一对 $i_{13/2}$ 中子的顺排造成了 ^{152}Gd 核的带交叉. 利用推转壳模型计算的结

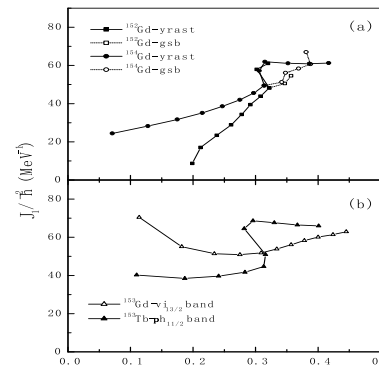


图2 (a) ^{152}Gd 和 ^{154}Gd 核中基带和转晕带的转动惯量随着转动频率的变化曲线; (b) ^{153}Gd 核中基于 $\nu i_{13/2}$ 组态带和 ^{153}Tb 核中基于 $\pi h_{11/2}$ 组态带转动惯量随着转动频率的变化曲线

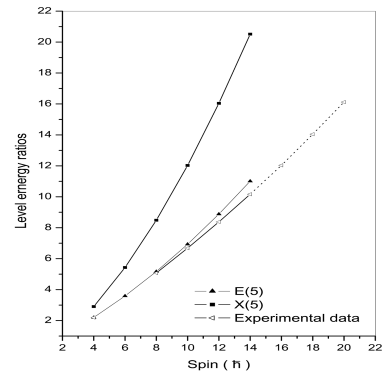


图3 ^{152}Gd 核转晕带内能级能量的比 $R_{1/2}$ 与 $E(5)$ 和 $X(5)$ 对称性模型计算结果的比较. 带点线的数据为新观察到的实验结果

果显示在转动频率 0.31 MeV 附近发生了一对 $i_{13/2}$ 中子的顺排, 这与实验结果符合得很好. 与此同时, 计算结果显示一对 $h_{11/2}$ 质子的顺排发生在转动频率 0.40 MeV 附近. 图 3 给出了 ^{152}Gd 核转晕带内能级能量的比 $R_{1/2}$ 与 $E(5)$ 和 $X(5)$ 对称性模型计算结果^[4] 的比较. 由图 3 可以看到在高自旋态上新增加的实验数据

仍然与 $E(5)$ 对称性模型的计算结果符合得好. 为了对 Gd 核沿同位素链的形状相变有更深入的了解, 需要进一步开展这方面的实验和理论研究工作.

作者感谢中国原子能科学研究院许国基研究员制靶时提供的帮助和 HI-13 串列静电加速器的所有工作人员.

参考文献(References)

- 1 Clark R M, Cromaz M, Deleplanque M A et al. Phys. Rev., 2003, **C68**: 037301
- 2 Tonev D, Dewald A, Klug T et al. Phys. Rev., 2004, **C69**: 034334
- 3 Dewald A, Moller O, Tonev D et al. Eur. Phys. J., 2004, **A20**: 173—178
- 4 Adam J, Dobes J, Honusek M et al. Eur. Phys. J., 2003, **A18**: 605—626
- 5 Radford D C. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., 1995, **A361**: 297—305
- 6 Zolnowski D R, Kishimoto T, Gono Y et al. Phys. Lett., 1975, **B55**: 453—456
- 7 Guttormsen M, Rekestad J, Riedinger L L. Phys. Scripta, 1980, **22**: 210—215
- 8 Zolnowski D R, Hughes M B, Hunt J et al. Phys. Rev., 1980, **C21**: 2556—2574
- 9 Nazarewicz W, Riley M A, Garrett J D. Nucl. Phys., 1990, **A512**: 61—96
- 10 Morrison J D, Simpson J, Riley M A et al. J. Phys. G, 1989, **15**: 1871—1892

High-Spin States in ^{152}Gd *

HUA Hui^{1,1)} WAMG Shuo¹ MENG Jie¹ LI Zhi-Huan¹ ZHANG Shuang-Quan¹ XU Fu-Rong¹
 LIU Hong-Liang¹ ZHOU Shan-Gui^{2,3} YE YAN-Lin¹ JIANG Dong-Xing¹ ZHENG Tao¹
 MU Li-Hua⁴ WU Xiao-Guang⁴ LI Guang-Sheng⁴ WANG Quan-Jin¹ CHEN Zhi-Qiang¹
 WU Cui-E¹ ZHANG Gao-Long¹ PANG Dan-Yang¹ WANG Jia¹ LOU Jian-Ling¹
 GUO Bin¹ JIN Ge¹ WEN Shu-Xian⁴ HE Chuang-Ye⁴
 CHUI Xing-Zhu⁴ LIU Ying⁴

1 (School of Physics and MOE key laboratory of Heavy Ion Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

2 (Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

3 (Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator, Lanzhou 730000, China)

4 (China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Abstract High-spin states of ^{152}Gd have been studied via the $^{148}\text{Nd}(^9\text{Be}, 5n)^{152}\text{Gd}$ fusion-evaporation reaction. The ground-state band, octupole band and β band have been extended up to spins 20^+ , 21^- and 16^+ , respectively. A possible aligned two quasi-neutron band, was observed for the first time. The kinematic behaviors of the ground-state bands and yrast bands in $^{152,154}\text{Gd}$ indicate that the shape of ^{152}Gd may change with the increasing of rotational frequency, which are consistent with the theoretical calculations using Cranked Woods-Saxon-Strutinsky methods. The first band crossing observed in ^{152}Gd can be ascribed to the alignment of a pair of $i_{13/2}$ neutrons.

Key words high spin states, ^{152}Gd , shape change, band crossing, fusion-evaporation reaction

* Supported by Natural Science Foundation of China (10405001, 10475002, 10475003, 10221003) and Major State Basic Research Development Program (G2000077400)

1) E-mail: hhua@hep.pku.edu.cn