

¹⁵⁵Tm 核的能级结构*

刘颖¹ 梁乃丽³ 李明非^{3;1)} 竺礼华¹ 吴晓光¹ 贺创业¹ 崔兴柱^{1,2}
李立华¹ 王治民¹ 李广生¹ 温书贤¹ 霍俊德² 杨春祥¹

1(中国原子能科学研究院 北京 102413)
2(吉林大学物理学院 长春 130023)
3(东北师范大学物理学院 长春 130024)

摘要 通过重离子熔合蒸发反应 ¹⁴²Nd(¹⁹F, 6n)¹⁵⁵Tm 来布居 ¹⁵⁵Tm 核的高自旋态. 发现了一些新的 γ 跃迁, 经过 γ - γ 符合分析, 建立了新的能级纲图. 利用系统学比较对新建立的 ¹⁵⁵Tm 能级进行了讨论.

关键词 高自旋态 在束 γ 谱学 能级纲图

1 引言

稀土区原子核往往表现出多样的核形状和核结构. ¹⁵²Dy ($N = 86, Z = 66$) 核在低自旋态时有 3 个带共存于扁椭形的单粒子态中^[1]. 对于同中子数的 ¹⁵³Ho ($N = 86, Z = 67$) 和 ¹⁵⁴Er ($N = 86, Z = 68$) 也发现了与在 ¹⁵²Dy 中相同的 3 种结构: 单粒子结构、超形变(SD)和正常形变(ND)的转动结构^[2]. 即 $N \leq 90$ 的 Dy, Ho 和 Er 同位素核, 表现出集体性与单粒子性共存的特点. 为了研究质子对形状共存的影响, 对 $N=86$ 的同中子数核 ¹⁵⁵Tm ($Z = 69$) 的高自旋态结构进行了实验研究.

2 实验与结果

2.1 实验描述

¹⁵⁵Tm 核的在束 γ - γ 符合实验在中国原子能科学研究所的 HI-13 串联加速器上完成. 通过重离子熔合蒸发反应 ¹⁴²Nd(¹⁹F,6n)¹⁵⁵Tm 来布居 ¹⁵⁵Tm 核的高自旋态, 束流能量为 122.5MeV, 强度为 15nA. 使用 2.2mg/cm² 厚自支撑靶. 探测装置由 14 套 HPGe-BGO 反康谱仪和一台小平面探测器组成. 实验中进行了 γ 射线激发函数和 γ - γ 符合测量, 在 100h 的束流时间内共积累了 1.7×10^8 个两重及两重以上的符合事

件, 离线建立了 3 个 E_γ - E_γ 矩阵: 一个是对称型矩阵; 另外两个是非对称型矩阵. 利用这些矩阵, 对已知 ¹⁵⁵Tm 的 γ 跃迁^[3, 4] 开窗分析, γ 跃迁强度和方向角关联-DCO 比值计算, 建立了新的 ¹⁵⁵Tm 核能级纲图(如图 1).

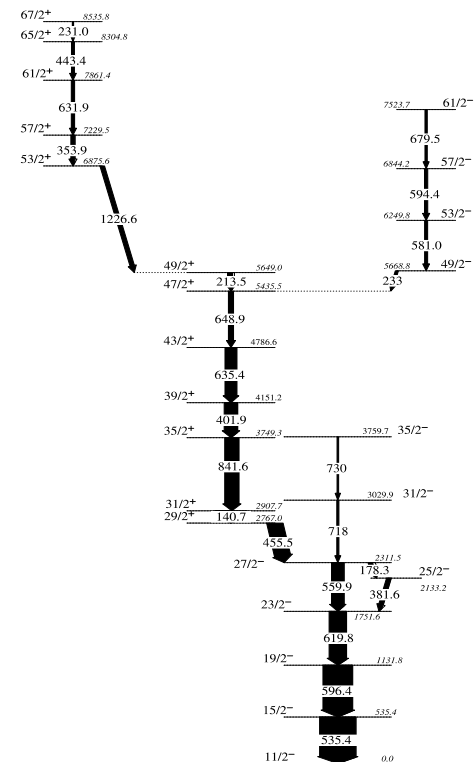


图 1 本实验建立的 ¹⁵⁵Tm 能级纲图

* 国家重点基础研究发展规划项目(TG2000077405) 和自然科学基金(10175090,10105015,10375092)资助

1) E-mail: limf634@nenu.edu.cn

2.2 能级纲图的建立

1991年, K.S.Toth^[3]等人研究了¹⁵⁵Yb核的同质异能态通过(*EC* + β^+)到¹⁵⁵Tm核的衰变, 给出了¹⁵⁵Tm核的低自旋能级. 1985年, R.Kossakowski^[4]等人利用¹⁴⁴Sm(¹⁴N, *xn*)和¹⁴⁷Sm(¹⁴N, *xn*)核反应(束流能量为20—120MeV)研究了^{153—157}Tm的高自旋态的低能级结构, 获得了¹⁵⁵Tm的部分低激发能级纲图.

首先, 以R.Kossakowski^[4]等人的能级纲图为基础, 对已知射线进行开窗. 除了发现能量为455.5, 597.0, 619.8和560keV 4个强的 γ 级联跃迁与R.Kossakowski等人的结果相符外, 还增加了许多新的跃迁. 原来的4条 γ 跃迁能量被进一步确认为455.5, 596.4, 619.8和559.9keV, 新发现的 γ 跃迁能量为535.4, 381.6, 178.3, 140.7, 841.6, 401.9, 635.4, 213.5, 648.9, 1226.6, 353.9, 631.9, 443.4, 231.0以及233.3, 581.0, 594.4, 679.5keV.

再将596.4, 535.4, 619.8keV的开窗与559.9keV的开窗比较, 发现178.3和381.6keV之间有级联关系并且跟除了559.9以外的其他跃迁有级联关系. 因此考虑将178.3和381.6keV这两条级联 γ 跃迁放到与559.9keV跃迁并列位置. 这也得到后面计算出的相对强度和通过求DCO比值确定跃迁多极性, 以及系统学比较等的佐证. 233.3, 581.0, 594.4, 679.5keV的 γ 跃迁开窗, 可以分析出它们与401.9以下的 γ 跃迁有级联关系, 而与648.9keV及剩下的 γ 跃迁无级联关系. 新建的能级纲图如图1所示, 增加了18条新 γ 跃迁和17条新能级. 能级纲图的建立主要考虑了相应的 γ 级联跃迁符合关系和相对强度; 自旋值则参考实验所得的DCO比值以及临近同中子奇A核和奇A同位素的系统学比较.

3 讨论

¹⁵⁵Tm低激发态有着相近的能级间距, 这预示着¹⁵⁵Tm是一个具有振动结构的过渡性核素. 在¹⁵⁵Tm中并没有发现存在于其较重同位素中的 $\alpha = +1/2$ 的衰变带. 图2给出了¹⁵⁵Tm较重的同位素奇A核Signature伙伴带能级劈裂的系统学比较^[5—8]. 其中实点表示的是17/2⁻到15/2⁻的跃迁能量, 空心点表示的是19/2⁻到15/2⁻的跃迁能量. 由图中可以看到, ^{157,159,161,163}Tm中19/2⁻到15/2⁻的跃迁能量和17/2⁻到15/2⁻的跃迁能量都随着中子数的减少而增加, 但后者的增加幅度比前者大. 在¹⁵⁷Tm(*N* = 89)中17/2⁻到15/2⁻与19/2⁻到15/2⁻的跃迁能量值已经

接近相等. 按照^{157,159,161,163}Tm中的17/2⁻到15/2⁻跃迁能量增加的趋势, 可以系统性地推断出¹⁵⁵Tm(*N* = 87)的17/2⁻到15/2⁻跃迁能量将接近700keV, 如图中虚线连接的实点所示, 即¹⁵⁵Tm中17/2⁻到15/2⁻之间的跃迁能量已经超过了19/2⁻到15/2⁻的跃迁能量值. 也就是说¹⁵⁵Tm的 $\alpha = +1/2$ 旋称态(如13⁻, 17⁻, 21⁻等)在转晕线以上, 布居较弱, 很难被观测到. 因此, 在¹⁵⁵Tm中没有发现 $\alpha = +1/2$ 的衰变带.

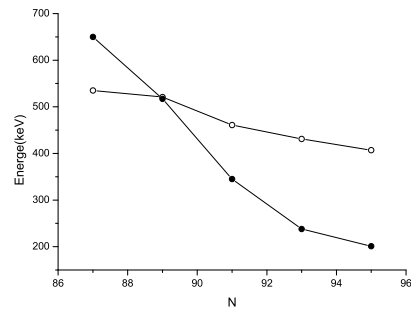


图2 ¹⁵⁵Tm同位素17/2⁻到15/2⁻(实心点)与19/2⁻到15/2⁻(空心点)跃迁能量值的系统学比较

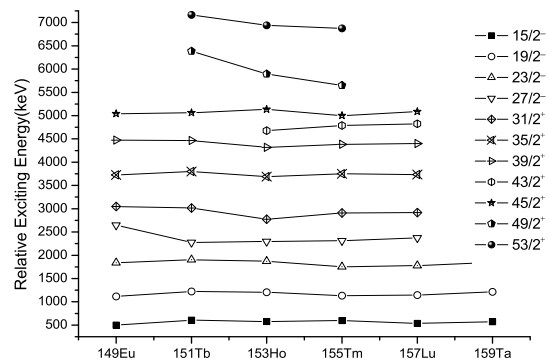


图3 ¹⁵⁵Tm与其同中子奇A核的激发能级比较

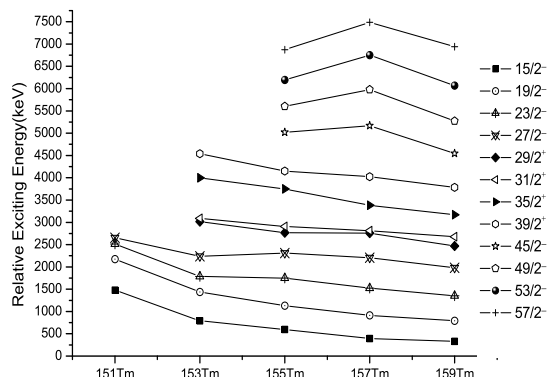


图4 ¹⁵⁵Tm与其奇A同位素的激发能级比较

对 ^{155}Tm 核($Z = 69, N = 86$)与临近核能级结构进行了系统比较. 对于邻近的 $N = 86$ 的奇A核 ^{149}Eu ^[9], ^{151}Tb ^[10], ^{153}Ho ^[11], ^{157}Lu ^[12], ^{159}Ta ^[13]与 ^{155}Tm 的比较, 如图3所示. 对于 ^{155}Tm 邻近的奇A同位素 ^{151}Tm ^[14], ^{153}Tm ^[15], ^{157}Tm ^[5], ^{159}Tm ^[6]与 ^{155}Tm 的比较, 如图4所示. ^{155}Tm 与其同中子奇A核比较显示, $45/2^+$ 能级以下, 随质子数的增加它们的相对激发能几乎不变, 说明这些能级的结构主要由中子所占居的轨道决定. ^{155}Tm 与其奇A同位素激发能级比较发

现, $39/2^+$ 能级以下, 随中子数增加, 即远离 $N = 82$ 幻数, 能级能量逐渐减小, 表示集体性逐渐增强. ^{155}Tm 的同位素奇A核 ^{153}Tm ^[15]的高自旋态基本上完全属于非集体运动, 而 ^{157}Tm ^[5]核的高自旋态则完全表现为集体转动, 这说明 ^{155}Tm 与 ^{156}Tm ^[16]核一样, 处在集体运动和非集体运动的过度中. 由此看出, ^{155}Tm 是研究原子核高自旋集体运动与单粒子运动竞争的合适核素, 需要对其高自旋态能级结构进行深入的分析.

参考文献(References)

- 1 Smith M B et al. Phys. Rev., 2000, **C61**: 034314
- 2 Appelbe D E et al. Phys. Rev., 2002, **C66**: 044305
- 3 Toth K S et al. Phys. Rev., 1991, **C44**: 1968
- 4 Kossakowski R et al. Phys. Rev., 1985, **C32**: 1612
- 5 Riley M A et al. Phys. Rev., 1995, **C51**: 1234—1246
- 6 Gascon J et al. Nucl. Phys., 1987, **A467**, Issue 3:539—556
- 7 Warburton S J et al. Nucl. Phys., 1995, **A591**: 323
- 8 Jensen H J et al. Z. Phys., 1991, **A340**: 351
- 9 Urban W et al. Nucl. Phys., 1994, **A578**: 204—224
- 10 Petrache C M et al. Nuclear Physics, 1994 **A579**: 285—304
- 11 Radford D C et al. Phys. Lett., 1983, **B126**: 24—27
- 12 Ding K Y et al. Phys. Rev., 2001, **C64**: 034315
- 13 Keenan A et al. Phys. Rev., 2001, **C63**: 064309
- 14 McNeill J H, Univ. Purdue, Diss. Abst. Int., 1987, **47**: 4517
- 15 ZHANG C T et al. Z Phys, 1994, **A348**: 249
- 16 LIU Ying et al. High Energy Physics and Nuclear Physics, 2004, **28**: 31—33 (in Chinese)
(刘颖等. 高能物理与核物理, 2004, **28**: 31—33)

Level Structure of $^{155}\text{Tm}^*$

LIU Ying¹ LIANG Nai-Li³ LI Ming-Fei^{3;1)} ZHU Li-Hua¹ WU Xiao-Guang¹ HE Chuang-Ye¹
 CUI Xing-Zhu^{1;2} LI Li-Hua¹ WANG Zhi-Min¹ LI Guang-Sheng¹
 WEN Shu-Xian¹ HUO Jun-De² YANG Chun-Xiang¹

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

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

3 (Physics Department of Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract The high spin states of ^{155}Tm have been populated via heavy-ion fusion evaporation reaction $^{142}\text{Nd}(^{19}\text{F}, 6n)^{155}\text{Tm}$. From the γ - γ coincidence analysis, a new level scheme of ^{155}Tm was established, and the high spin states of ^{155}Tm was discussed by systemic comparison.

Key words fusion evaporation reaction, high spin state, level scheme

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10175090, 10105015, 10375092) and Major State Basic Research Development Program (TG2000077405)

1) E-mail: limf634@nenu.edu.cn