

^{126}Cs 的高自旋态能级结构*

王守宇¹ 马英君^{1;1)} T. Komatsubara² 刘运祚¹ 张玉虎³
梁国栋¹ K. Furuno² T. Hayakawa² J. Mukai² Y. Iwata⁴
T. Morikawa⁵ G. B. Hagemann⁶ G. Sletten⁶ J. Nyberg⁶ D. Jerrestam⁶
H. J. Jensen⁶ J. Espino⁶ J. Gascon⁶ N. Gjørnp⁶ B. Cederwall⁷ P. O. Tjøm⁸

1 (吉林大学物理学院 长春 130023)

2 (Institute of Physics and Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, Ibaraki 305, Japan)

3 (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

4 (Department of Physics, Faculty of Science, Hiroshima University, Hiroshima 724, Japan)

5 (Department of Physics, Faculty of Science, Kyushu University, Fukuoka 812, Japan)

6 (Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Tandem Accelerator Laboratory, Risø DK-4000, Roskilde, Denmark)

7 (Manne Siegbahn Institute of Physics, S-10405 Stockholm, Sweden)

8 (Department of Physics, University of Oslo, Norway)

摘要 利用融合蒸发反应 $^{116}\text{Cd}(^{14}\text{N}, 4n)^{126}\text{Cs}$ 布居了 ^{126}Cs 的高自旋态. 观测到了 100 多条新的 γ 跃迁和相应的能级, 建立了双奇核 ^{126}Cs 由 9 个转动带构成的能级纲图. 尝试性地指定了大部分能级的自旋和宇称以及各转动带的 Nilsson 单粒子组态. 极大地丰富了已有的实验结果.

关键词 高自旋态 能级纲图 转动带 Nilsson 单粒子组态

1 引言

在原子核高自旋态研究中, 对质量数 $A \approx 130$ 过渡区形变双奇核的研究越来越引起实验和理论核物理学家的重视^[1]. 其中双奇核 ^{126}Cs 近年来也是得到了深入的研究^[2,3]. ^{126}Cs 及其同位素 ^{124}Cs , ^{128}Cs , ^{130}Cs , ^{132}Cs 的质子费米面位于 $h_{11/2}$ 子壳层的下部, 而中子费米面位于 $h_{11/2}$ 子壳层的中上部. 占居高 j 值的 $\pi h_{11/2}$ 和 $\nu h_{11/2}$ 单粒子轨道的价核子对核芯的 γ 自由度有明显的极化效应, 从而形成了十分复杂的集体带结构. 为了能够更好地理解这个核区高自旋态的集体转动带结构, 吉林大学高自旋态研究小组在过去的几年中, 通过在束 γ 谱学的方法对 ^{122}Cs , ^{124}Cs , ^{126}Cs 进行了实验研究^[3-5]. 作为此研究项目的继续, 本文将进一步详细报道 ^{126}Cs 的转动带

能级结构.

2 实验

本工作的实验数据是从日本筑波大学小松原博士处获得的. 该实验是在丹麦玻尔所串列加速器上完成的, 通过 $^{116}\text{Cd}(^{14}\text{N}, 4n)$ 反应布居了 ^{126}Cs 的高自旋态^[2]. ^{116}Cd 靶的厚度约为 $820\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 靶后蒸有 $1\text{mg}/\text{cm}^2$ 的金衬. 实验选取的束流能量为 65MeV . 实验的探测阵列是由 19 台 ACS Ge 探测器和一台小平面探测器组成. γ - γ 符合数据以事件带方式记录在磁盘上, 共收集了大约 8×10^8 个 γ - γ 符合事件. 在离线数据处理中建立了一个 4096×4096 的 γ - γ 符合矩阵, 用于分析 γ - γ 符合关系. 为确定 γ 射线的跃迁多极性, 进而指定相关能级的自旋值, 实验还测量了符合模式下的 γ 射线的各向异性度^[6], 即 ADO

2003-09-16 收稿

* 国家自然科学基金(10275028, 10205006), 国家重点基础研究发展规划(G2000077400)资助

1) E-mail: yjma@public.cc.jl.cn

(Angular Distribution of rays Deexciting the Oriented States)系数,并建立了相应的矩阵. 对应于本次实验,我们提取了该实验中邻近核中已知 γ 跃迁多极性的 ADO 系数,纯四极跃迁的 ADO 系数取值在 2 左右,而纯偶极跃迁的 ADO 系数取值在 1 左右, M1 和 E2 的混合跃迁则介于两者之间. 基于 γ 射线 ADO 系数与其跃迁多极性的对应关系,我们指定了 γ 跃迁的多极性和相关能级的自旋值和宇称.

3 结果与讨论

在文献[3]中,报道了 ^{126}Cs 由 100 条左右 γ 跃迁组成的 6 个转动带的能级纲图. 本工作利用 ^{116}Cd ($^{14}\text{N}, 4n$) ^{126}Cs 反应,结合 γ 跃迁的符合关系和强度平衡等信息,建立了 ^{126}Cs 包括 9 个转动带的高自旋态能级纲图(如图 1),这 9 个转动带及其带间连接

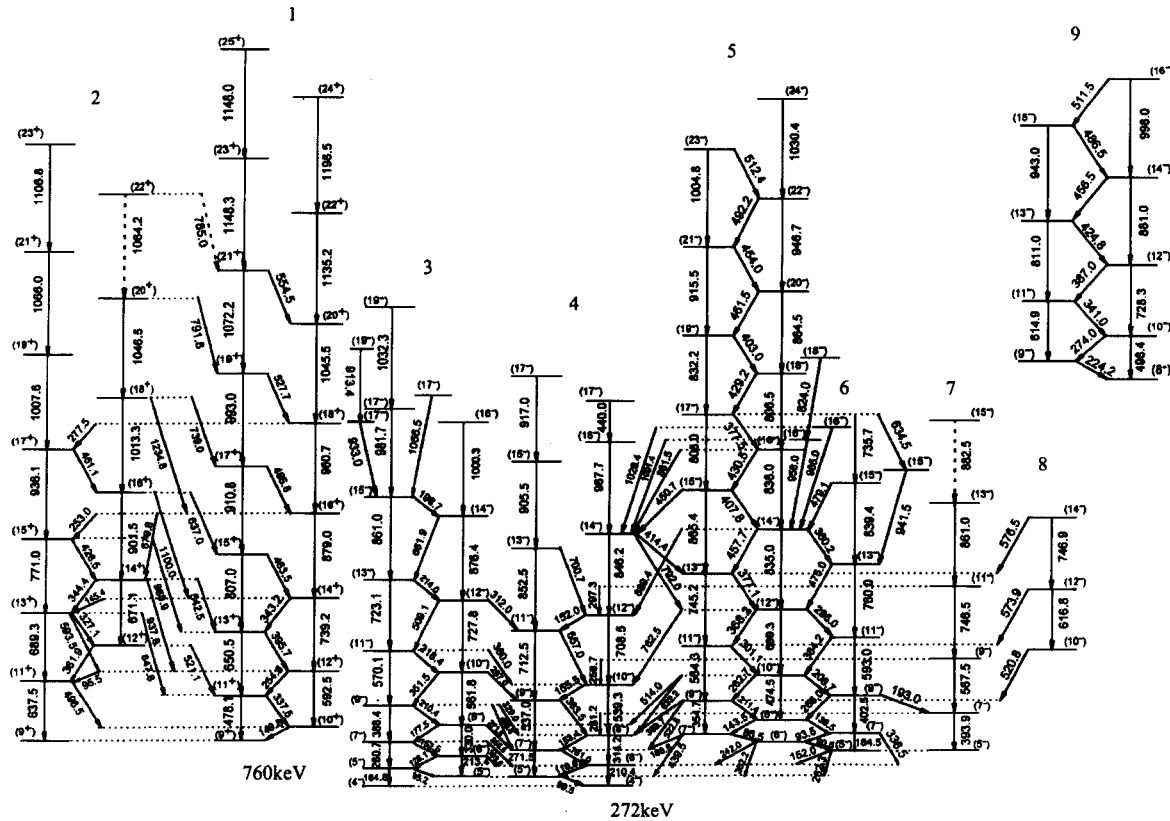


图 1 ^{126}Cs 能级纲图

是由 212 条 γ 跃迁组成的,其中 100 多条 γ 跃迁是首次发现的,并且用 ADO 系数确定了大部分能级的自旋与宇称. 为了便于讨论,把图 1 中每条转动带用数字做了相应的标记.

带 1 是本次实验中观测到的布居强度最强的带,为晕带. 我们将其指定为 $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态,符合 130 区邻近双奇核晕带组态指定的系统学特点. 文献[7](关于双奇核 $^{118-132}\text{Cs}$ 同质子素 $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态带激发能系统学的研究)建议 ^{126}Cs 该组态带的带头自旋值为 $9\hbar$. 本文引用了文献[7]的建议,将激发能为 760keV 的带头能级自旋值尝试性地指定为 $9\hbar$. 带 2 是一条强耦合带,与文献[3]的工作比较,我们把带 2 的两条旋称分支分别推高了 $2\hbar$ 和 $6\hbar$,并且观测到了多条带 2 与带 1 之间的连接跃

迁(见图 1),我们提取了这些连接跃迁的 ADO 系数(见图 2),从图 2 中可以看出 ADO 明显地分成了两组,521.1,542.5,637.0,739.0 和 791.8keV γ 跃迁的

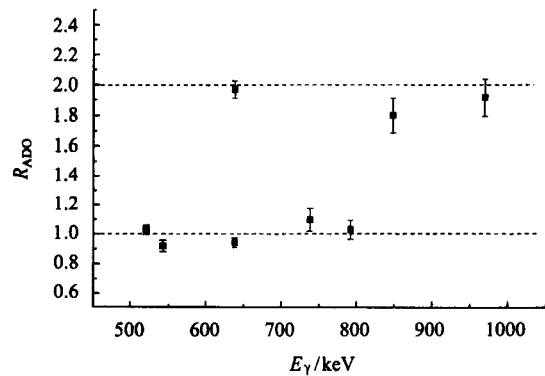


图 2 带 1 和带 2 的部分连接跃迁的 ADO 系数

ADO 系数在 0.92—1.03 之间, 是 $\Delta I = 1$ 的跃迁; 637.5, 847.8 和 968.9keV γ 跃迁的 ADO 系数在 1.80—1.97 之间, 是 $\Delta I = 2$ 的跃迁, 考虑到电四极跃迁(E2)的跃迁几率远大于磁四极跃迁(M2), 我们认定 ADO 系数在 1.80—1.97 之间 3 条 γ 连接跃迁很可能是电四极跃迁, 相应地前面提到的 5 条 ADO 系数在 0.92—1.03 之间的 γ 跃迁就应该为磁偶极跃迁(M1). 据此, 我们确定了带 2 各条能级的自旋和宇称. 在 ^{126}Cs 相邻的奇奇核 $^{128}\text{Cs}^{[8]}$, $^{130}\text{Cs}^{[9]}$ 中也观测到了与 ^{126}Cs 带 2 相类似的晕带伴带, 并且被指定为是与晕带基于相同组态的手征带. 文献[10]对此进行了详细论述, 认为带 2 具有与晕带相同的 $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态, 是晕带的手征伴带. 我们的工作支持文献[10]的结论.

本次工作将带 3—6 这 4 个转动带推到更高的自旋, 其中带 5 由原来的 $17\hbar$ 推高到 $24\hbar$, 并且建立了带 3 与带 4, 带 4 与带 5 之间的连接, 从而确定了这 4 个带能级的相对激发位置和自旋值. 在文献[3]中对带 3, 4, 5, 6 已做了详细的分析和讨论, 指定了各转动带能级的自旋和宇称, 其准粒子组态分别为 $\pi g_{7/2} [422] 3/2^+ \otimes \nu h_{11/2} [523] 7/2^-$ (带 3)、 $\pi d_{5/2} [420] 1/2^+ \otimes \nu h_{11/2} [523] 7/2^-$ (带 4)、 $\pi h_{11/2} [550] 1/2^- \otimes \nu g_{7/2} [404] 7/2^+$ (带 5) 和 $\pi h_{11/2} [550] 1/2^- \otimes \nu d_{3/2} [411] 3/2^+$ (带 6).

我们还建立了 3 个新的转动带, 分别对应于图 1 中的带 7、带 8 和带 9, 其中带 9 为悬空带. 图 3 中给出了由带 7 和带 9 干净的 γ 射线开门得到的 γ - γ 符合谱. 带 7 和带 8 只观测到了一个旋称分支, 说明这两个带或者有很大程度的旋称劈裂, 或者布局较弱. 通过与相邻奇 A 核^[11,12]中各种组态带性质的比较, 本工作尝试性地将带 7 和带 8 分别指定为基于 $\pi h_{11/2} \otimes \nu s_{1/2}$ 和 $\pi h_{11/2} \otimes \nu d_{5/2}$ 组态. 带 9 是一个悬空的强耦合转动带, 没有观测到它与目前已知的

^{126}Cs 转动带或低激发态的连接跃迁, 一时难以确定其归属. 但是考虑到带 9 的布居强度较强, 其强度与反应道里其他核素的晕带或亚晕带强度相当; 并且在 $^{116}\text{Cd}(^{14}\text{N}, 4n)$ 反应中能够布居地其他核素的高自旋态信息都比较完整, 我们经过反复调研, 并没有发现这样一条转动带. 因此我们认为该转动带属于 ^{126}Cs 的可能性最大, 并且将其指定为 $\pi g_{9/2} [404] 9/2^+ \otimes \nu h_{11/2} [523] 7/2^-$ 组态, 相应最低能级的自旋与宇称分别为 $I_0^+ = K_p + K_n = 9/2 + 7/2 = 8^-$, 是一个高 K 值的转动带 (K 为角动量在对称轴上的投影), 带头可能具有较长的寿命, 符合悬空带的特征.

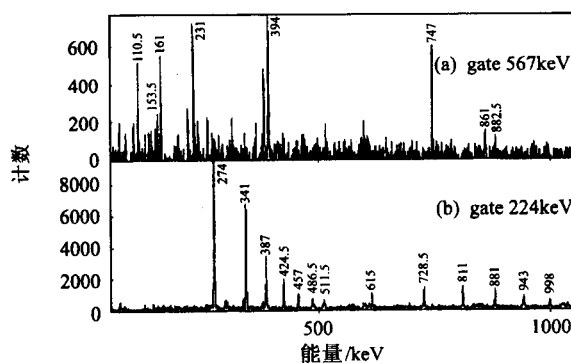


图 3 开门符合谱示例

4 总结

本工作利用 $^{116}\text{Cd}(^{14}\text{N}, 4n)$ 反应对双奇核 ^{126}Cs 的高自旋态进行了实验研究, 建立了由 9 个转动带构成的能级纲图. 基于 ^{126}Cs 的 γ 跃迁 ADO 系数, 指定了 ^{126}Cs 的 γ 跃迁多极性和相应能级自旋及宇称. 根据该核区带结构研究中所获得的系统学知识, 以及相邻奇 A 核准粒子组态的信息, 我们尝试性指定了新发现的 3 条转动带的组态.

参考文献 (References)

- 1 SUN Xiang-Fu. Nuclear Physics Review., 1997, 14(1):1(in Chinese) (孙相富. 原子核物理评论. 1997, 14(1):1)
- 2 Komatusubara T, Furino K, Hesoda T et al. Nucl. Phys., 1993, A557:419c
- 3 Li Xian-Feng, MA Ying-Jun, LIU Yun-Zuo et al. Eur. Phys. J., 2003, A17:523
- 4 LU Jing-Bin, LIU Yun-Zuo, MA Ying-Jun et al. J. Phys., 1999, G25:573
- 5 LU Jing-Bin, LIU Yun-Zuo, YIN Li-Chang et al. Chin. Phys. Lett., 2001, 18:21
- 6 ZHEN Yong, ZHOU Xiao-Hong, LIU Min-Liang et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2002, 26(9):909(in Chinese) (郑勇, 周小红, 柳敏良等. 高能物理与核物理, 2002, 26(9):909)
- 7 LIU Yun-Zuo, LU Jing-Bin, MA Ying-Jun et al. Phys. Rev., 1998, C58:1849
- 8 Koike T, Starosta K, Chiara C J, et al. Phys. Rev., 2001, C63:061304
- 9 Starosta K, Koike T, Chiara C J, et al. Phys. Rev. Lett., 2001, 86:

- 971
 10 LI Xian-Feng, MA Ying-Jun, LIU Yun-Zuo et al. Chin. Phys. Lett., 2002, **19**(12):1779
 11 ZHANG J-Y, Hughes J R et al. Phys. Rev., 1992, **C46**:R39
 12 Ward D, Andrews H R, Janzen V P et al., Nucl. Phys., 1992, **A539**:547

High-Spin Level Scheme of $^{126}\text{Cs}^*$

WANG Shou-Yu¹ MA Ying-Jun^{1,1)} T. Komatsubara² LIU Yun-Zuo¹
 ZHANG Yu-Hu³ LIANG Guo-Dong¹ K. Furuno² T. Hayakawa²
 J. Mukai² Y. Iwata⁴ T. Morikawa⁵ G. B. Hagemann⁶ G. Sletten⁶
 J. Nyberg⁶ D. Jerrestam⁶ H. J. Jensen⁶ J. Espino⁶ J. Gascon⁶
 N. Gjørnp⁶ B. Cederwall⁷ P. O. Tjøm⁸

1 (Department of Physics, Jilin University, Changchun 130023)

2 (Institute of Physics and Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, Ibaraki 305, Japan)

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

4 (Department of Physics, Faculty of Science, Hiroshima University, Hiroshima 724, Japan)

5 (Department of Physics, Faculty of Science, Kyushu University, Fukuoka 812, Japan)

6 (Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Tandem Accelerator Laboratory, Risø DK-4000, Roskilde, Denmark)

7 (Manne Siegbahn Institute of Physics, S-10405 Stockholm, Sweden)

8 (Department of Physics, University of Oslo, Norway)

Abstract High-spin states of ^{126}Cs have been populated via the $^{116}\text{Cd}(^{14}\text{N}, 4n)^{126}\text{Cs}$ reaction. The experiment was performed at Niels Bohr Institute in Denmark in 1991. After careful data analysis, most of the previously-known bands have been pushed up to much higher spins and 3 new rotational sequences have been identified. Spin, parity and configuration assignments are tentatively proposed for all of the observed bands.

Key words high spin state, level scheme, rotational band, configuration assignment

Received 16 September 2003

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10275028, 10205006), Major State Basic Research Development Program (G2000077400)

1) E-mail: yjma@public.cc.jl.cn