

双奇核 ^{140}Pr 的高自旋态能级纲图^{*}

于海萍^{1,2} 郭应祥^{1;1)} 雷相国¹ 张玉虎¹ 周小红¹ 骆鹏¹ 柳敏良¹
宋立涛¹ 王华磊¹ 谢成营¹ 郑勇¹ 郭文涛¹ 竺礼华³ 吴晓光³

1(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2(中国科学院研究生院 北京 100039)

3(中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘要 通过 $^{130}\text{Te}(^{14}\text{N}, 4n)$ 反应首次对双奇核 ^{140}Pr 进行了在束 γ 谱学研究.在实验中进行了 γ 射线的激发函数、 γ 射线单谱和 γ - γ - t 符合测量.建立了激发能达4717.3keV的 ^{140}Pr 的能级纲图,其中包括新发现的42条 γ 射线和新建立的27个能级.基于实验测量的 γ 跃迁各向异性度,建议了 ^{140}Pr 部分能级的自旋值.根据 ^{140}Pr 附近同位素核结构的系统性,对部分能级的准粒子组态作了定性的讨论.

关键词 高自旋态 γ - γ - t 符合测量 能级纲图

双满闭壳 ^{146}Gd 核附近中子数 $N = 81$ 的同中子素核的能级结构具有典型的单粒子激发特征,壳模型计算对这些核的能级结构进行了很好的解释^[1-4].但是, $N = 81, Z = 59$ 的双奇核 ^{140}Pr 的在束谱学信息很有限,而其同位素核和同中异位素核已知能级纲图的系统性显示 ^{140}Pr 处于较为关键的位置.在本工作之前,S. G. Hussein等人用 $^{141}\text{Pr}(d, t)$ 和 $^{140}\text{Ce}(p, n\gamma)$ 反应研究了 ^{140}Pr 的低位能级结构^[5]; K. H. Schedl等人测量了 ^{140}Pr 两个同质异能态的寿命^[6].对 ^{140}Pr 的在束能级结构尚未进行充分的研究,特别是高自旋态,迄今实验仅观测到2条在束 γ 射线.本工作采用重离子诱发的熔合蒸发反应 $^{130}\text{Te}(^{14}\text{N}, 4n)$ 研究了 ^{140}Pr 的高自旋激发态,建立了 ^{140}Pr 的高自旋能级纲图.

实验是在中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器上完成的.用 ^{14}N 束流轰击同位素 ^{130}Te 靶布居了 ^{140}Pr 的高自旋态.靶子的厚度为 $1.67\text{mg}/\text{cm}^2$,并附有 $10.37\text{mg}/\text{cm}^2$ 的Pb衬.为了确定产生 ^{140}Pr 的最佳束流能量和指定观测到的 γ 射线,实验首先进行了 γ 射线的激发函数测量.根据ALICE程序计算,当

束流能量为55MeV时, ^{140}Pr 的反应截面最大.考虑到入射离子在靶中有能量损失,在55—65MeV束流能量范围内,以5MeV为步长进行了 γ 射线的激发函数测量.发现当束流能量为58MeV时 ^{140}Pr 的产额达到最大.在此束流能量下,用12套带有BGO反康的高纯锗(HPGe)探测器进行了 γ - γ - t 符合测量,这里 t 是符合的两个 γ 射线到达探测器的相对时间差,符合时间窗为200ns.在符合测量时,把3套探测器放置在相对于束流方向约 90° 的方向上,3套放在相对于束流方向 44.6° 的方向上,其余的则置于中间角度上.实验中共获取了 77×10^6 个 γ - γ 符合事件.在离线数据处理时,对每个探测器做了能量增益归一,建立了一个 4096×4096 对称化矩阵,用于分析 γ - γ 符合关系.在实验开始前和结束后,均用 ^{60}Co , ^{133}Ba 和 ^{152}Eu 标准放射源对探测器进行了能量和效率刻度.对 ^{60}Co 的1.33MeV γ 射线,探测器的能量分辨(FWHM)在2.0—3.0keV之间.为了指定 γ 跃迁的多极性,给出相关能级的自旋值,建立了两个非对称化矩阵:一个矩阵的 x 轴和 y 轴分别放所有探测器和3个大角度探测器的 γ - γ 符合数据,另一个矩

2003-11-19 收稿

* 国家自然科学基金(10075062, 10275081, 10025525, 10221003), 国家重点基础研究发展规划(TG2000077400)和中国科学院资助

1) E-mail: gyx@ns.lzb.ac.cn

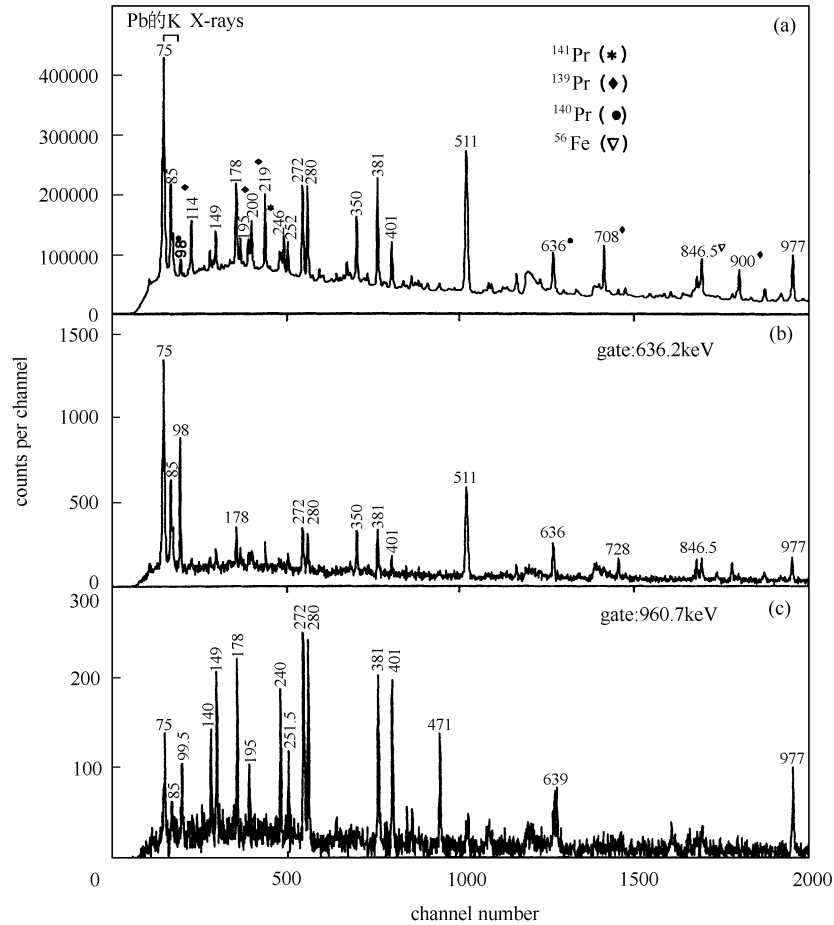


图 1 总的投影谱(a)和 636.2keV(b),960.7keV(c) γ 射线的开门谱

阵的 x 轴和 y 轴分别放所有探测器和 3 个小角度探测器的 γ - γ 符合数据.通过选用较强的 γ 射线分别在这两个矩阵的 x 轴总投影谱上开门,得到对应于大角度和小角度方向上的两个投影谱.对于级联跃迁 γ_1 和 γ_2 ,定义 γ_1 的 ADO 系数为 γ_1 在用 γ_2 开窗的上述两个谱中强度之比.由此获得 γ 射线的跃迁极性,从而给出相关能级的自旋.

图 1 显示了总投影谱和典型的开门谱.在离线数据处理时,对总投影谱中的每一个强峰进行了分析.发现一些强峰不能指定给已知核,如:252,272,381 和 977keV 等射线.我们提取了这些射线的激发函数,结果如图 2 所示.图 2 也给出了已知的¹³⁹Pr γ 射线产额随束流能量的变化趋势.¹³⁹Pr 是通过反应¹³⁰Te(¹⁴N,5n)产生的.图 2 表明 252,272,381 和 977keV 等射线应该来源于蒸发 4 个粒子的反应道.通过分析这些 γ 射线的符合关系,发现它们与¹⁴⁰Pr 的已知 636.2keV γ 射线有弱的符合关系(如图 1(b)所示).636.2keV γ 射线退激一个寿命为 3.05 μ s 的同

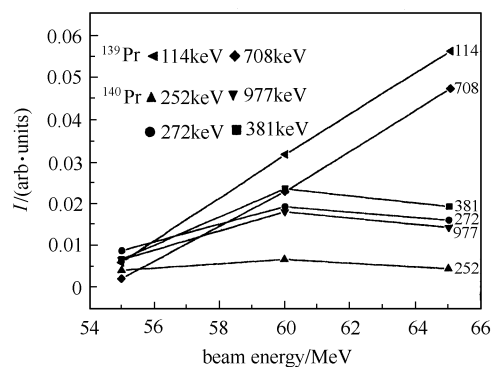


图 2 ¹⁴⁰Pr 和¹³⁹Pr 的 γ 射线的激发函数

质异能态.结合激发函数的测量结果,我们把 252,272,381 和 977keV 等射线指定给了¹⁴⁰Pr.根据与这些强 γ 射线的符合关系,进一步指定了源于¹⁴⁰Pr 的弱 γ 射线.基于 γ - γ 符合关系、 γ 射线的相对强度以及强度平衡和交叉跃迁的信息,本工作首次建立了¹⁴⁰Pr 的高自旋态能级纲图(如图 3 所示).¹⁴⁰Pr 能级纲图由 30 个能级、44 条 γ 跃迁组成.特别需要指出

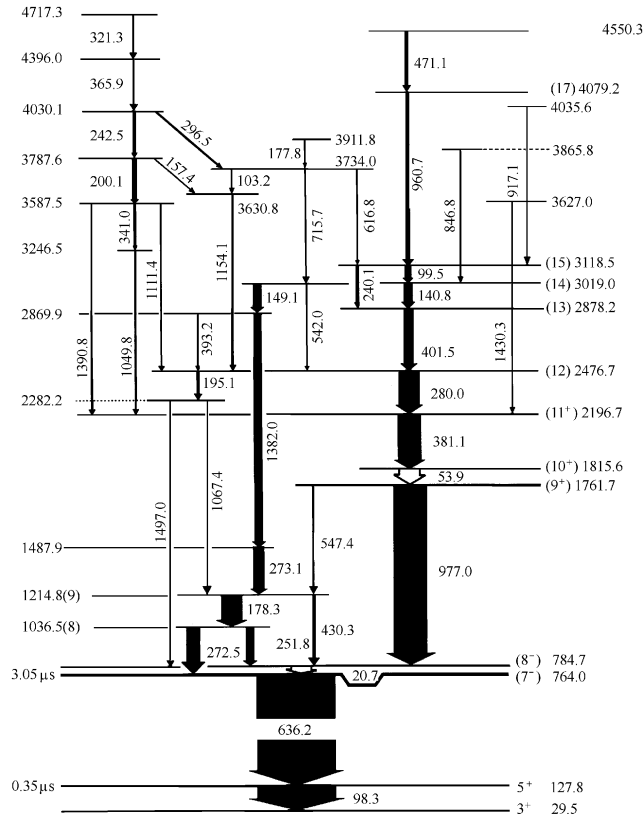


图 3 本工作建立的¹⁴⁰Pr 的能级纲图

的是,根据符合关系的要求,我们假定了在纲图中存在能量分别为 20.7 和 53.9keV 两条低能 γ 射线.这两条低能跃迁在纲图中的位置符合¹⁴⁰Pr 周围双奇核结构的系统性^[2,3,6].通过分析 γ 射线的 ADO 系数,建议了¹⁴⁰Pr 能级的自旋值.图 4 比较了¹⁴⁰Pr 的 γ 跃迁与¹³⁹Pr 和¹⁴¹Pr 已知跃迁多级性的 γ 射线的 ADO 系数,可见 ADO 系数比较明显地分成两组.四极跃迁的取值为 1.20 左右,而偶极跃迁的取值为 0.70 左右,M1 和 E2 的混合跃迁则介于这两组值之间.

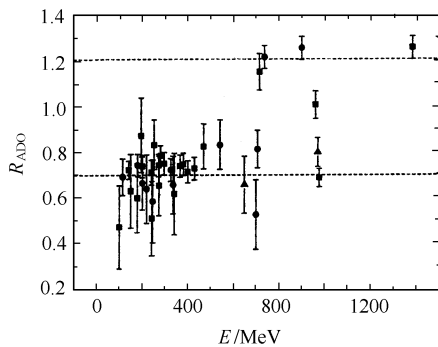


图 4 ¹³⁹Pr(●),¹⁴⁰Pr(■)和¹⁴¹Pr(▲)的 γ 射线的 ADO 系数

本工作所建议的¹⁴⁰Pr 能级纲图中不规则的能

级间隔以及众多的平行跃迁清楚地说明了¹⁴⁰Pr 核具有典型的单粒子运动特征.在这个质量区域内,超过闭壳 $Z = 50$ 以外的价质子主要占据 $1g_{7/2}$ 和 $2d_{5/2}$ 两个轨道,对于奇 Z 核的两个低位能级态应是 $J^\pi = 7/2^+$ 和 $5/2^+$ ^[7].通过对偶 $Z, N = 81$ 核的系统性进行研究^[8,9],它们的低激发态可由在 $2d_{3/2}$ 或 $3s_{1/2}$ 轨道的单中子空穴很好的描述, $1h_{11/2}$ 空穴态则在激发能 750keV 左右被观测到,而 $2s_{1/2}^{-1}$ 处于更高的激发态.由此,对于双奇核¹⁴⁰Pr,低位能级应该由两准粒子激发而形成,它的多重态的组态应该来自以下 4 个组态: $\pi d_{5/2} \nu d_{3/2}^{-1}$, $\pi d_{5/2} \nu s_{1/2}^{-1}$, $\pi g_{7/2} \nu d_{3/2}^{-1}$, $\pi g_{7/2} \nu s_{1/2}^{-1}$ ^[5].对于质子和中子空穴都可用的 $h_{11/2}$ 轨道,由于具有高角动量的特性,在建立高自旋态中起着重要的作用.在¹⁴⁰Pr 周围的奇奇核中可系统性地观测到具有 $\pi h_{11/2} \nu h_{11/2}^{-1}$ 组态的 $9^+, 10^+$ 和 11^+ 3 个态^[2,3,10],其激发能和能级间距都类似于¹⁴⁰Pr 中 1761.7, 1815.6 和 2196.7keV 的 3 条能级.根据邻近双奇核结构的系统性,建议能量为 1761.7, 1815.6 和 2196.7keV 的 3 条能级是多重态 $\pi h_{11/2} \nu h_{11/2}^{-1}$ 角动量最高的 3 个分态,而 2196.7keV 能级是 $\pi h_{11/2} \nu h_{11/2}^{-1}$ 组态的全顺排态,具有最大的角动

量. 位于这个能级以上的激发态, 至少是由四准粒子激发形成的, 由于高能级密度和缺乏确定的自旋值, 很难对这些能级的组态进行指定. 在下一步的工作中, 我们将利用经验壳模型计算深入分析 ^{140}Pr 晕态的结构.

本工作利用 $^{130}\text{Te}(^{14}\text{N}, 4n)$ 反应, 通过 γ 射线的激发函数、 γ 射线的单谱以及 γ - γ - t 符合测量, 首次

建立了 ^{140}Pr 激发能达 4717.3keV 的能级纲图, 基于 ^{140}Pr 的 γ 跃迁的 ADO 系数, 指定了 ^{140}Pr 的部分能级自旋值. 根据 ^{140}Pr 周围核结构的系统性, 对部分能级的准粒子组态作了定性的讨论.

感谢中国原子能科学研究院串列加速器全体工作人员在实验中提供的方便和帮助.

参考文献 (References)

- 1 Jerzy Ludziejewski, Hans Arnold. *Z. Phys.*, 1977, **A281**:287
- 2 Funke L, Fromm W D, Keller H J et al. *Nucl. Phys.*, 1976, **A274**:61
- 3 Piiparinen M, Atac A, Blomqvist J et al. *Nucl. Phys.*, 1996, **A605**:191
- 4 Kownacki J, Ludziejewski J, Sujkowski Z et al. *Nucl. Phys.*, 1974, **A236**:125
- 5 Hussein S G, Sanderson N E, Summers-Gill R G. *Nucl. Phys.*, 1974, **A219**:407
- 6 Schedl K H, Bercks C, Hummel E. *Z. Phys.*, 1975, **A272**:417
- 7 Wildenthal B H. *Phys. Rev. Lett.*, 1969, **22**:1118
- 8 Jolly R K, Kashy E. *Phys. Rev.*, 1971, **C4**:887
- 9 Jolly R K, Kashy E. *Phys. Rev.*, 1971, **C4**:1398
- 10 de Angleis G, Lunardi S, Bazzacco D et al. *Z. Phys.*, 1993, **A347**:93

High-Spin Level Scheme of Odd-Odd ^{140}Pr Nucleus*

YU Hai-Ping^{1,2} GUO Ying-Xiang^{1;1)} LEI Xiang-Guo¹ ZHANG Yu-Hu¹
 ZHOU Xiao-Hong¹ LUO Peng¹ LIU Min-Liang¹ SONG Li-Tao¹ WANG Hua-Lei¹
 XIE Cheng-Ying¹ ZHENG Yong¹ GUO Wen-Tao¹ ZHU Li-Hua³ WU Xiao-Guang³

1(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, China)

2(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

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

Abstract High-spin level structure of doubly odd nucleus ^{140}Pr has been investigated using in-beam γ spectroscopy techniques by means of the $^{130}\text{Te}(^{14}\text{N}, 4n)^{140}\text{Pr}$ reaction at beam energy of 58MeV. γ -ray excitation functions, γ -ray singles and γ - γ - t coincidences were measured experimentally. The level scheme of ^{140}Pr , including 27 new levels and 42 new γ -rays, was established for the first time up to 4717.3keV in excitation energy. Based on the measured γ -ray anisotropies, spin values were suggested to the levels in ^{140}Pr . Several quasiparticle configurations are discussed on the basis of systematics in the neighboring odd-odd nuclei, and interpreted qualitatively.

Key words high-spin state, γ - γ - t coincidence measurement, level scheme

Received 19 November 2003

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10075062, 10275081, 10025525, 10221003), Major State Basic Research Development Program(TG2000077400) and Chinese Academy of Sciences

1)E-mail:gyx@ns.lzb.ac.cn