

^{126}I 高自旋态的识别^{*}

李容俊¹ 马英君¹ 吴晓光² 张玉虎³ 竺礼华¹ 王守宇¹ 李明非¹
梁国栋¹ 崔兴柱¹ 李险峰¹ 赵广义¹ 陆景彬¹ 刘运祚¹ 王治民²
李广生² 温书贤² 杨春祥² Komatsubara T⁴ Furuno K⁴

1(吉林大学物理学院 长春 130023)

2(中国原子能科学研究院 北京 102413)

3(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

4(Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, Ibaraki 305, Japan)

摘要 利用重离子融合蒸发反应 $^{122}\text{Sn}(^{11}\text{B}, 5\text{n}2\text{p})$ 布居了双奇核 ^{126}I 的激发态,首次建立了具有集体带结构特征的能级纲图,其中包括 20 条新 γ 跃迁.所建能级纲图的核素归属指定得到了核反应 $^{124}\text{Sn}(^7\text{Li}, 5\text{n})$ 的交叉支持.简单讨论了所建带结构的可能组态.

关键词 高自旋态 能级纲图 带结构 双奇核

$Z = 53$ 的碘同位素核位于质量数 120—130 区域中从球形核($Z = 50$)到大形变核($Z \approx 58$)的过渡区.原子核相对具有较小的形变以及较软的形状,容易因为价核子的形变驱动作用而发生形变乃至形状的改变.过去的实验和理论研究表明,碘同位素核的激发态表现着十分丰富而有趣的核现象.例如在较高自旋区域,奇质量数核 $^{113}-^{123}\text{I}$ (见文献[1]及其处参考文献)以及双奇核 $^{120}, ^{122}, ^{124}\text{I}^{2-4}$ 中出现了带终结现象;而在低自旋区域,长椭(三轴形变参数 $\gamma \approx 0^\circ$)和扁椭($\gamma \approx -60^\circ$)形状的共存已在多个碘核中被报道,例如在 $^{121}\text{I}^{51}$ 中.最近,在 $^{118}\text{I}^{61}$ 中又观测到了手征对称性破损的迹象.从这些现象中已经揭示出许多深层次的物理内涵.随着中子数的增加,上述现象依然可能继续存在.然而在实验测量方面,质量数 $A > 124$ 的碘核的高自旋态已很难通过 $A > 10$ 的人射粒子所引起的融合蒸发反应而得到较强的布居,为这些核较高激发态的研究造成了困难,并因此使得人们对中子数相对较多的碘同位素核的谱学特征缺乏深入了解.最近,Sharma 等^[7]和张玉虎等^[8]分别利用 α 粒子和 ^7Li 离子对 ^{125}I 和 ^{127}I 的高自旋态进

行了研究,观测到了较低自旋区基于不同组态的长椭和扁椭转动带的共存以及高自旋区的多准粒子态等诸多有趣物理现象.本文将报道对双奇核 ^{126}I 的高自旋态的初步研究结果.在以往研究中,Burde 等^[9]早在 1983 年报道了利用轻粒子(质子)核反应对 ^{126}I 核的能级结构的研究,而本文则是通过重离子引入的融合蒸发反应对该核能级结构研究的首次报道.

在本工作中,用融合蒸发反应 $^{122}\text{Sn}(^{11}\text{B}, 5\text{n}2\text{p})$ 对双奇核 ^{126}I 的高自旋态进行了布居,入射束流由中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器提供,能量为 55 和 60 MeV.在每个能量点上进行了一次测量.靶材料为自支撑的 ^{122}Sn 高纯同位素膜,其质量厚度为 $5\text{mg}/\text{cm}^2$.利用 11 台反康高纯锗探测器进行了 γ - γ 符合测量以及符合 γ 单谱等的测量,共收集了 1.5×10^8 个 γ - γ 符合事件.各探测器利用 ^{152}Eu 标准源进行了能量刻度和效率刻度.离线分析建立了用于符合关系分析的对称化 E_γ - E_γ 矩阵以及用于方向关联比 DCO 分析的非对称化 E_γ - E_γ 矩阵.

经过离线数据分析发现,用 55 和 60 MeV 的 ^{11}B 束流轰击 ^{122}Sn 靶主要生成了 ^{129}Cs , ^{128}Cs , ^{129}Xe 和

2004-08-19 收稿

^{*} 国家自然科学基金(10205006, 10275028),国家重点基础研究发展规划(G2000077400),留学回国人员科研启动基金资助

^{128}Xe 各剩余核的激发态. 而根据 CASCADE 程序的核反应截面计算以及我们的经验, 还预期对应 $5n2p$ 出射道的 ^{126}I 核的激发态也将得到可观程度的布居. 然而在本工作之前尚未有通过重离子反应对该核进行研究的报道. 相比而言, Burde 等^[9]早在 1983 年利用 $^{126}\text{Te}(p, n)E = 2.9\text{--}6\text{MeV}$ 反应获得的关于 ^{126}I 核的激发态能级结构的在束研究是以往类似工作中实验结果最为丰富的, 最高能级的激发能为 1.10MeV . 但是可以预期, 利用质子和 ^{11}B 离子所布居的原子核激发态一般会有很大程度的不同. 因为 ^{11}B 具有较大的质量数以及携带较高的能量和角动量, 所以它所布居的原子核激发态将更靠近晕线. 如果由 ^{11}B 所布居的激发态在向下退激的过程中遇到了具有较长寿命的同质异能态 (isomer), 那么我们甚至可能建立不起来上述靠近晕线的激发态与基态之间的连接. 这为认定本实验中的 ^{126}I 核的激发态带来了困难. 但是, 从 ^{126}I 核基态上的已知 γ 射线出发, 经过细致的符合开窗分析, 建立了如图 1 所示的能级纲图. 图 2 给出了支持这一纲图结构的示例开窗谱. 在该纲图中, 最下面的两条级联跃迁即 122.4 和 115.4keV 的跃迁的能量与以往工作^[9]中观测到的相应跃迁的能量在误差范围内取得了很好地一致, 而在该两条跃迁之上, 所观测到的能级结构则是全新的. 考虑到如前所述质子和 ^{11}B 离子所布居的激发态的特点的不同, 认为图 1 所示能级纲图很可能属于 ^{126}I . 原理上, 通过观察图 1 中各 γ 射线是否与碘同位素的特征 X 射线符合是检验我们设想的有效方法, 但是在实践上, 由于本实验中各探测器在 X 射线能量区域的探测效率较低以及 $xn2p$ 并非所选核反应的主出射道, 所以 X 射线鉴别法不能给出有力证据.

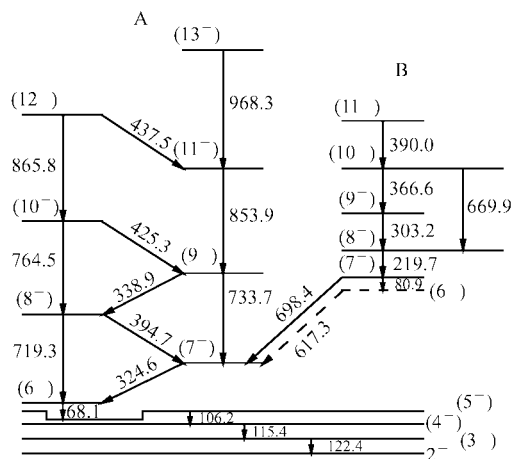


图 1 本工作建立的 ^{126}I 能级纲图

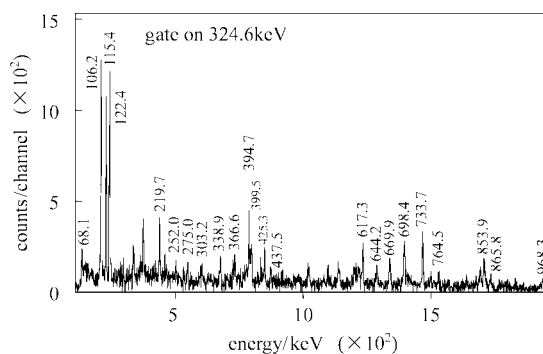


图 2 由核反应 $^{11}\text{B} + ^{122}\text{Sn}$ 数据所得到的 324.6keV γ 射线的符合开窗谱. 图中 $252.0, 275.0, 399.5$ 和 644.2keV γ 射线属于 ^{126}I , 但尚未被准确地放入能级纲图中. 其他未标注峰主要来自另一剩余核 ^{128}Cs 的干扰.

为进一步检验关于图 1 所示能级纲图的核素归属指定, 又调用了张玉虎等利用 $^7\text{Li} + ^{124}\text{Sn} E = 32\text{MeV}$ 核反应旨在研究 ^{127}I 激发态的实验数据^[8]. 该实验在不同的实验室 (日本筑波大学串列加速器中心) 完成. 经过对该数据的分析, 发现图 1 中 324.6keV 跃迁以下 (含 324.6keV 跃迁) 所示的能级结构同样可以被建立起来, 并且与 ^{127}I 无关. 图 3 给出了支持这一结论的开窗谱示例. 考虑到用 ^7Li 轰击 ^{124}Sn 所生成的剩余核的原子序数最大可能仅为 53, 因此图 1 所示能级结构的核素归属完全可以把 $Z > 53$ 的 $^{128, 129}\text{Xe}$ 和 $^{128, 129}\text{Cs}$ 排除在外. 在张玉虎等所利用的反应中, 生成 ^{127}I 的 $4n$ 出射道是主反应道, 但是产生于 $3n$ 和 $5n$ 出射道的 ^{128}I 和 ^{126}I 也势必得到

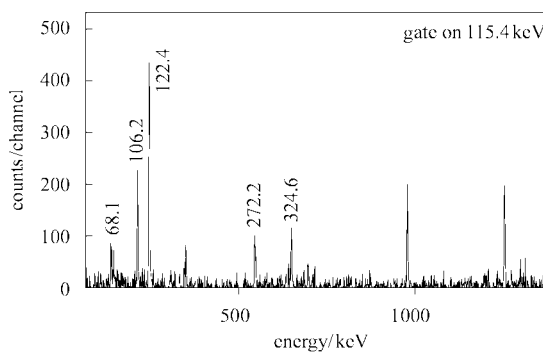


图 3 由核反应 $^7\text{Li} + ^{124}\text{Sn}$ 数据得到的 115.4keV γ 射线的符合开窗谱. 图中 272.2keV γ 射线主要来自 ^{126}I , 但尚未被准确地放入纲图中. 其他未标注峰主要来自反应中另一剩余核 ^{127}I 的干扰.

一定程度的布居. CASCADE 程序的核反应截面计算表明, ^{128}I 核以及 $Z \leq 52$ 核的激发态在 $^{11}\text{B} + ^{122}\text{Sn}$ $E_{\text{beam}} = 55\text{--}60\text{MeV}$ 的核反应中不会得到可观程度的布居. 同时, 在来自 $^{11}\text{B} + ^{122}\text{Sn}$ 核反应的实验数据中观测不到 ^{125}I 和 ^{127}I 晕带的存在. 此外, 两种不同束靶组合可能因为转移反应机制而生成的共同反应产物 ^{123}Sn 的能级结构也与图 1 所示结构完全不同. 基于上述各种证据, 图 1 所示能级纲图必然属于 ^{126}I 核.

对于低中子数的碘同位素 $^{120}, ^{122}, ^{124}\text{I}$ 双奇核而言, 通过重离子融合蒸发反应观测到的能级结构在中低自旋区域主要呈现集体转动的特征^[2-4]. 随着中子数的增加, 中子费米面向 $N = 82$ 的满壳层趋近, 原子核的形变逐渐减小, 导致原子核的集体运动趋弱而单粒子运动趋强. 通过图 1 中带 A 甚至包括带 B 的能级结构可以看到, 在 $N = 73$ 的双奇核 ^{126}I 中依然能观测到集体转动的存在. 这是迄今被观测到集体转动的最重的碘同位素双奇核. 而在更重的碘双奇核 ^{128}I 中是否能观测到明显的集体转动则依然是个未知数.

图 1 中的最低观测态即为 ^{126}I 的基态^[9], 而观测到的最高能级的激发能为 3.29MeV . 根据以往关于 ^{126}I 的研究^[9] 知道, 其基态为 2^- . 通过对本实验中 DCO 数据的分析, 尝试性指定了其他各能级的自旋. 需要说明, 在图 1 所示 (5^-) 和 (6^-) 态之间, 存在未观测到的低能 γ 跃迁的可能性. ^{126}I 的能级可以划分为图 1 所示的带 A 和带 B 结构, 其中带 A 被观测到明显强于带 B, 应该为 ^{126}I 核的晕带. 在相邻的奇质子核 ^{125}I 和 ^{127}I 中, 晕带基于正宇称的 $g_{7/2}$ 轨道并有来自相邻 $d_{5/2}$ 轨道的混合, 并且可能具有扁椭形状^[7,8]; 而在相邻的奇中子核例如 ^{127}Xe 中, 其晕带基于负宇称的 $h_{11/2}$ 轨道, 并且也可能具有扁椭形状^[10]. 因此, 可以将带 A 指定为基于上述两种组态的耦合, 即基于 $\pi g_{7/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态并混有来自质子

$d_{5/2}$ 轨道的波函数混合, 宇称为负. 在低中子数的 $^{120}, ^{122}\text{I}$ 中, 其晕带也被指定为基于 $(\pi g_{7/2} / d_{5/2}) \otimes \nu h_{11/2}$ 组态, 同时被认为可能具有扁椭形状^{2,3}; 而文献[4]关于 ^{124}I 研究的简要报道没有给出晕带的组态指定. 本工作关于 ^{126}I 中晕带的组态指定与 $^{120}, ^{122}\text{I}$ 中的晕带组态指定取得了系统学性的一致, 或许带 A 也具有扁椭形状. 关于本工作中建立的带 B, 目前尚不足以给出可靠的组态指定. 从该带退激至带 A 的 698.4keV 连接跃迁的 $\Delta I = 0$ 指定基于带 A 处于晕带地位的考虑, $\Delta I \geq 2$ 的指定将使得带 B 处于晕带地位, 即将使带 B 中的能级与具有相同自旋的带 A 中的能级相比具有更低的激发能, 这与带 A 强于 B 的实验观测不符. 而对于带 B 宇称的指定, 目前依然是十分尝试性的. 或许带 B 基于 $\pi d_{5/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态并混有质子 $\pi g_{7/2}$ 轨道的波函数混合. 值得指出, 虽然带 A 中 (11^-) 能级与带 B 中 (10^-) 能级在激发能上很接近, 但是符合关系分析表明, 两者并非同一能级.

总之, 本文通过融合蒸发反应 $^{122}\text{Sn}(^{11}\text{B}, 5n2p)$ 布居了双奇核 ^{126}I 的激发态. 这是迄今为止通过重离子引入的核反应对该核进行在束研究的首次报道. 研究中建立了包含 20 条新 γ 射线并表现着集体带结构特征的 ^{126}I 核能级纲图, 并因此将双奇碘同位素核中集体运动的观测从低中子数区向上延伸到 $N = 73$. 对所建能级纲图的核素归属指定得到了来自不同核反应 $^{124}\text{Sn}(^7\text{Li}, 5n)$ 的交叉证据的支持. 根据相邻核的已知研究结果讨论了 ^{126}I 核中带结构的可能组态, 其中晕带被尝试性指定为基于 $\pi g_{7/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态.

向中国原子能科学研究院串列加速器供束组人员和制靶组许国基老师等对本工作的支持致以谢意.

参考文献 (References)

- Balabanski D L, Rainovski G, Falconi G et al. Phys. Rev., 1997, **C56**: 1629—1632
- Kaur H, Singh J, Sharma A et al. Phys. Rev., 1997, **C55**: 512—515
- Kaur H, Singh J, Sharma A et al. Phys. Rev., 1997, **C55**: 2234—2243
- Balabanski D L, Rainovski G, Blasi N et al. Heavy Ion Phys., 1997, **6**: 275—279
- Liang Y, Fossan D B, Hughes D B et al. Phys. Rev., 1992, **C45**: 1041—1057
- Starosta K, Koike T, Chiara C J et al. Nucl. Phys., 2001, **A682**: 375c—386c
- Sharma H, Sethi B, Banerjee P et al. Phys. Rev., 2000, **C63**: 014313 1—7
- ZHANG Y-H, MA Y-J, Sasaki Y et al. HEP & NP, 2002, **26**: 104—107 (in Chinese)
(张玉虎, 马英君, Sasaki Y 等. 高能物理与核物理, 2002, **26**;

- 104—107) 10 Wiedenhover I, Neuneyer U, Kerskens C et al. Z. Phys., 1993, **A347**:
9 Burde J, Richter V, Labaton I. Nucl. Phys., 1983, **A402**:205—219 71—74

Identification of High-Spin States in Odd-odd ^{126}I *

LI Rong-Jun¹ MA Ying-Jun¹ WU Xiao-Guang² ZHANG Yu-Hu³ ZHU Li-Hua¹
WANG Shou-Yu¹ LI Ming-Fei¹ LIANG Guo-Dong¹ CUI Xing-Zhu¹
LI Xian-Feng¹ ZHAO Guang-Yi¹ LU Jing-Bin¹ LIU Yun-Zuo¹ WANG Zhi-Min²
LI Guang-Sheng² WEN Shu-Xian² YANG Chun-Xiang² Komatsubara T⁴ Furuno K⁴

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

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

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

4(Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, Ibaraki 305, Japan)

Abstract Excited states in odd-odd ^{126}I have been studied via the heavy-ion induced fusion-evaporation reaction $^{122}\text{Sn}(^{11}\text{B}, 5n2p)$ at beam energies of 55 and 60 MeV with beams provided by the HI-13 tandem accelerator of CIAE in Beijing. A level scheme consisting of 20 new γ transitions assigned to ^{126}I is established. The assignment of the established level scheme to ^{126}I is based on the observed coincidences between the newly identified γ -transitions and two previously known cascade γ transitions feeding the ground state of ^{126}I , and supported by a cross measurement using the $^{124}\text{Sn}(^7\text{Li}, 5n)$ reaction performed at UTTAC, Japan. The observed structures of ^{126}I at high spins show typical properties of collective rotation in a deformed nucleus. Their possible configurations are discussed briefly on the basis of knowledge from the neighboring nuclei.

Key words high spin states, level scheme, band structure, doubly odd nucleus

Received 19 August 2004

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10205006, 10275028), Major State Research Development Programme (G2000077400) and Startup Science Foundation for Returned Researchers