

文章编号: 1007- 4627(2000)04-0212-04

^{78}Kr 高自旋态的形状共存*

白尔隽¹, 王智魁², 李险峰², 马英君², 赵广义², 陆景彬²,
尹利长², 孙慧斌^{1,2}, 霍俊德²

(1 深圳大学核技术研究所, 广东 深圳 518060;

2 吉林大学物理系, 吉林 长春 130023)

摘要: 用熔合蒸发反应 $^{58}\text{Ni}(^{23}\text{Na}, 3\text{p})$ ($E_{\text{in}} = 70 \text{ MeV}$) 和 $^{58}\text{Ni}(^{28}\text{Si}, \alpha 4\text{p})$ ($E_{\text{in}} = 130 \text{ MeV}$) 研究了 ^{78}Kr 的高自旋态, 用美国劳伦斯伯克利国家实验室的 γ 球测量了实验中产生的瞬时符合事件, 对新发现的一个负宇称带用多普勒位移衰减法对 $1\ 004 \text{ keV}$ ($10^- \rightarrow 8^-$) 和 873 keV ($8^- \rightarrow 6^-$) 作了多普勒展宽谱线形状测量. 得到了负宇称带 10^- 态能级的寿命 $\tau = (2.2 \pm 0.3) \text{ ps}$, 8^- 态能级的寿命 $\tau = (1.6 \pm 0.2) \text{ ps}$. 故可知此负宇称带呈现长椭形变, 与正宇称带的扁椭形变形状共存.

关键词: 高自旋态; 多普勒位移衰减法; 寿命; 形状共存

中图分类号: O571.22 文献标识码: A

1 引言

$A = 80$ 核区的原子核高自旋态能级结构比较复杂, 原因是其质子和中子数较为接近, 从而中子与质子的相互作用机制也比较复杂; 又因为这一区域的能级大部分分布在 $f-p-d$ 壳层上, 其单粒子运动行为与集体运动行为竞争激烈, 导致能级密度较高, 结构也较为复杂. 因此, 对这一区域原子核的深入研究对于人们进一步认识原子核的结构和内部机制是十分重要的, 故而引起愈来愈多的实验与理论核物理工作者的兴趣. ^{78}Kr 有36个质子和42个中子, 处于 $A = 80$ 区域, 正是所述区域内的一个很好的研究对象. Kr 同位素的四极形变随中子数的变化而剧烈变化, 在对从大形变的 ^{74}Kr ($\beta_2 \approx 0.37$)^[1-3]到弱形变的 ^{82}Kr ($\beta_2 \approx 0.15$)^[4]的研究中, 利用了很多理论模型. 处理 Kr 同位素的基态形变和激发态形变时, 使用了包括相互作用的玻色子模型^[5]、两准粒子的转子模型^[6]、基于 Woods-Saxon 势的推转 Hartree-Fock-Bogolynov 模型^[7, 8]和形变组态混合壳模型^[9]. 当这些模型应用于 ^{78}Kr 时, 可得出大的四极形变, 这在一定程度上与实验结果相符合, 为扁椭球形变与近长椭球形变共存提供了

理论依据.

本工作的主要目的是寻找新的负宇称带并研究其形变特性, 类似的带已在 ^{76}Kr ^[10]和 ^{80}Kr ^[11]中找到. 在以前关于 ^{78}Kr 的工作中只建起了一对负宇称带, 并且认为其为准质子带, 而在最近的 ^{76}Kr 的工作中将观测到的负宇称带定为准中子带. 那么能否在 ^{78}Kr 中得到类似的发现呢?正是为了解决这一问题, 我们进行了这项工作.

2 实验及数据分析

为寻找 ^{78}Kr 的新的负宇称带, 共进行了两个实验. 第一个实验是通过入射核能量 $E = 70 \text{ MeV}$ 的熔合蒸发反应 $^{58}\text{Ni}(^{23}\text{Na}, 3\text{p})$ 来布居 ^{78}Kr 的高自旋态. ^{58}Ni 靶厚为 19.44 mg/cm^2 , 同位素丰度高达99.89%. γ 射线由包含10个反康谱仪的探测装置测量, 共获得 1.5×10^7 个 ^{78}Kr 二重符合事件.

第二个实验利用入射核能量 $E = 130 \text{ MeV}$ 的熔合蒸发反应 $^{58}\text{Ni}(^{28}\text{Si}, \alpha 4\text{p})$ 来布居 ^{78}Kr 的高自旋态. ^{58}Ni 靶的同位素丰度为99.7%, 靶厚 $330 \mu\text{g/cm}^2$. 用美国劳伦斯伯克利国家实验室的57个高效率的高纯锗探测器 γ 球测量 γ 符合事件, 同时启用

* 收稿日期: 2000-01-01

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19875021)

作者简介: 白尔隽(1943-), 男(汉族), 浙江舟山人, 副教授, 从事核结构及核技术应用研究.

了由54个单元组成的微球带电粒子探测器, 这有助于反应道的选择. 从6个反应道中共分离出 5×10^6 个三重以上的属于蒸发 α 4p 反应道的符合事件. 分析结果部分已先期发表^[12], 其能级结构包括5个非常复杂的负宇称带.

在此前, 已有文章报导了 ^{78}Kr 一些能级寿命的测量结果, 并且它们与理论符合较好, 并推断出正宇称带存在近扁椭球形变. 而在此是研究负宇称带的形变趋向. 过去对 ^{78}Kr 的负宇称带确定的很少, 又没有给出具有说服力的结果. 根据已有的结果, ^{78}Kr 的晕带以及低能态的能级寿命大都在 ps 量级, 由于原子核的能级存在自旋越高能级寿命越短的普遍现象, 所以待测能级(位于较高自旋)也应在 ps 量级, 这很适合于用多普勒位移衰减法(DSAM)来测量. 本工作在新发现的3个负宇称带的基础上, 在 γ - γ 符合矩阵中用 DSAM 方法测量了 ^{78}Kr 的新发现负宇称带的某些能级寿命.

利用 DSAM 测量能级寿命时, 对影响能级测

量寿命的因素作了一些近似处理.

2.1 最终靶厚

靶被想象为具有8等份厚度层面组成, 以此来考虑束流和靶中的反冲核的能量损失. 尽管束流在每个层中依次有能量损失, 但 DSAM 方法假设每层中的反应率近似保持不变. 对于每一层, 已充分考虑了前面层面对入射粒子的阻止效应和在剩余层面(如果有衬底, 还应包括衬底)的反冲效应. 而这对最初的0.5 ps 时间内的平均初始反冲速度和衰减是有影响的.

2.2 反冲速度的分布

对于粒子蒸发而形成的最初反冲速度分布的大小和角度, 可以通过高斯分布函数来考虑.

2.3 阻停过程对于 ^{78}Kr 的反冲

对电子部分采用 Ziegler 等^[13] 的半经典描述, 而对于原子核部分, 则根据 Kalbitzer 等^[14] 的参数

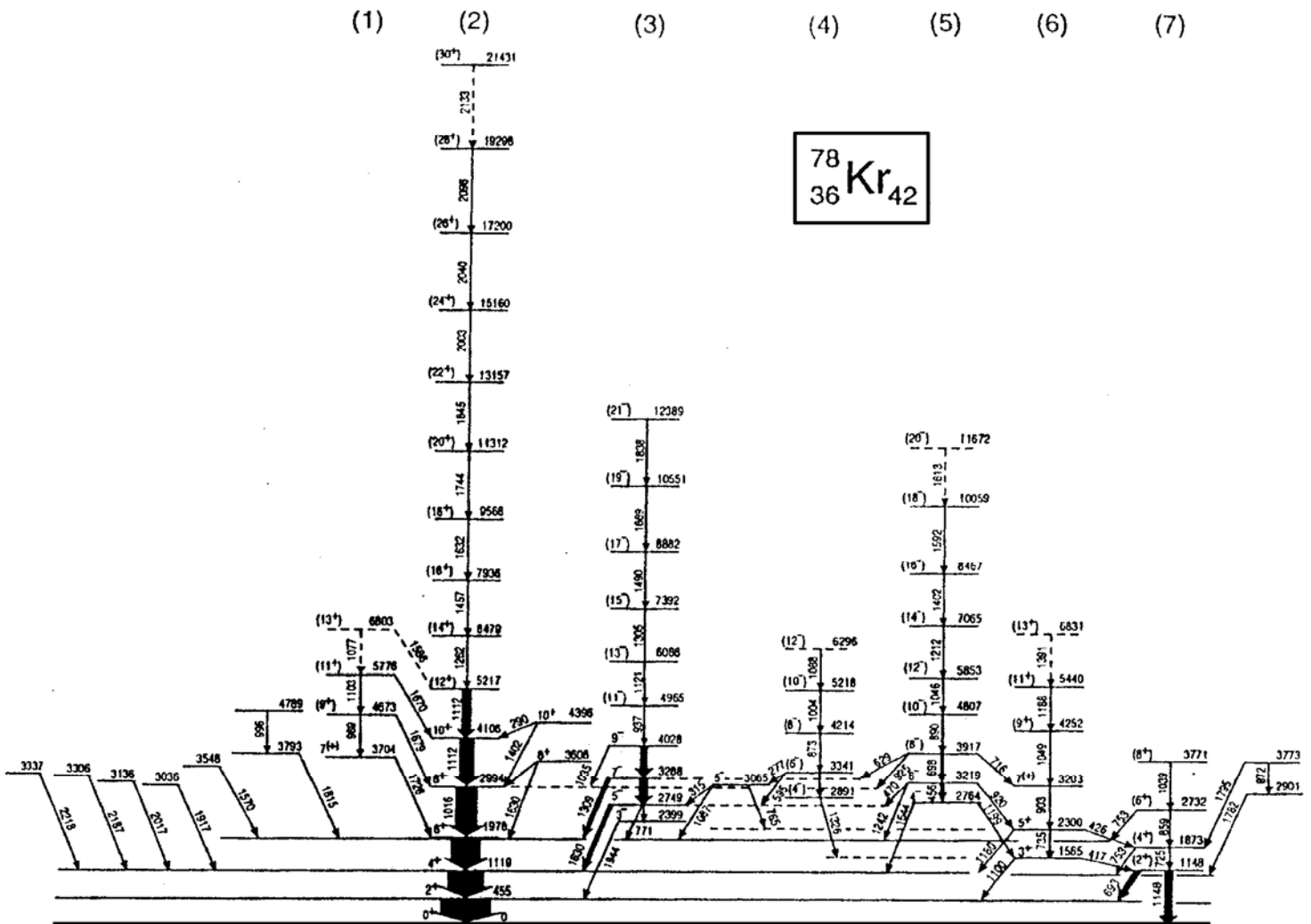


图1 ^{78}Kr 的能级纲图

来处理. 采用 Blaugrund 近似可计算阻停过程中由核碰撞产生的反冲粒子的角分布^[15]. 在 1- 2 ps 范围, 分别用多普勒位移衰减和反冲距离多普勒位移方法对一些能级寿命的测量结果进行了拟合, 证明了用该半经验处理方法是一种可行的馈入模式.

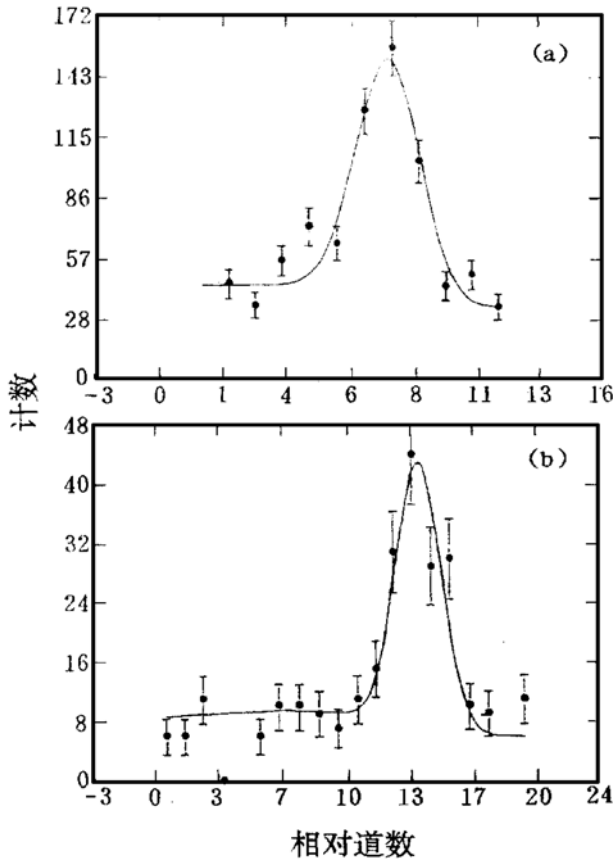


图2 本工作得到的(a) 873 keV ($8^- \rightarrow 6^-$) 和(b) 1 004 keV ($10^- \rightarrow 8^-$) 的 DSA 谱形

跃迁都是通过位于与入射粒子成 45° 角处的探头测得的, 图中曲线为拟合曲线.

对于能级寿命而言, ^{78}Kr 的能级寿命测量很敏感的依赖于对所有馈入此能级的 γ 跃迁强度, 要得到满意的测量结果还需要对其退激能级寿命进行正确估算. 如图 1 所示, 我们建立了 ^{78}Kr 的最新能级纲图(其中部分结果已先期发表^[12]), 图中的负宇称带 4 是本项工作进行能级寿命测量的对象. 对于此能带的 1 004 keV ($10^- \rightarrow 8^-$), 873 keV ($8^- \rightarrow 6^-$), 除了考虑从较高能级直接退激到这两条能级的带内拉伸跃迁的馈入强度外, 还要考虑旁带的馈入强度. 一般而言, 对于待测的能级, 旁带馈入强度比它的较高一能级强度要强. 因此, 有时对于低能级

来说, 旁带馈入的增强更大程度上取决于现在还未观测到的旁带馈入. 对于这种馈入模式, 需要从最高处的能级入手进行 DSAM 分析. 对于最高处跃迁, 由于缺乏馈入强度等信息, 那么可以将与谱线形状最好的拟合对应的能级寿命估算值当作此能级寿命的上限, 这一上限为它的毗邻的下一跃迁提供了有效寿命. 利用所有测得的这些能级寿命及跃迁强度, 对它们下面的能级寿命测量谱线进行拟合. 所取能级处的旁带馈入一般从 0.1 ps 开始, 然后对下面的跃迁依次在适当的范围内增加. 旁带馈入时间可先取试探值, 直至谱线形状拟合满意为止, 从而得到此谱线对应的退激能级的寿命值. DSAM 分析方法是使用 GNOMON 计算机程序来完成的(此程序由 Helmeister 等人进一步完善). 在所建立的负宇称带 4 中, 我们给出了 5 218 keV (10^-) 和 4 214 keV (8^-) 能级寿命的测量值. 在谱线 1 004 keV ($10^- \rightarrow 8^-$) 和 873 keV ($8^- \rightarrow 6^-$) 中只在峰的两侧底部出现多普勒展宽, 这表明 10^- 和 8^- 自旋态的寿命大于 1 ps. 拟合计算如图 2 所示, 得到 873 keV 跃迁对应的能级 4 214 keV (8^-) 的寿命值 $\tau = (2.2 \pm 0.3)$ ps, 1 004 keV 跃迁对应的能级 5 218 keV (10^-) 的寿命值 $\tau = (1.6 \pm 0.2)$ ps.

3 讨论

从所测到的两条能级寿命值中抽取的四极矩平均值为 $Q_t = (4.39 \pm 0.25)$ eb, 对应于 $\beta_2 = 0.29 \pm 0.02$ (以上计算都是利用 GNOMON 程序来完成的). 在推转壳模型框架中,

$$Q_t = \frac{3}{\sqrt{5\pi}} Z e R^2 \beta_2 \frac{\cos(30^\circ + \gamma)}{\cos 30^\circ},$$

其中 $R = 1.2A^{1/3}$, Z 为原子序数, e 为电荷. 由上式求得三轴形变因子 $\gamma \approx 14^\circ$, 因此可以断定此条新建的负宇称带的形变是近长椭球形变. 综合本工作和以前的工作, 可得出结论, ^{78}Kr 的高自旋态的晕带是扁椭球形变, 而所测的负宇称带呈近长椭球形变. 这种现象预示着长椭球形变和扁椭球形变在 ^{78}Kr 的高自旋态中共存.

参 考 文 献:

[1] Tabor S L, Cottle P D, Holcomb J W *et al.* Quasiparticle Alignment in the Most Deformed Krypton Isotope ^{78}Kr [J].

Phys Rev, 1990, C41: 2 658- 2 665.

[2] Heese J, Blumenthal D J, Chishti A *et al.* Rapid

- Communications[J]. Phys Rev, 1991, C43: R921– 925.
- [3] Rudolph D, Baktash C, Gross C J *et al.* Systematics of Even-even $T_2 = 1$ Nuclei in the $A = 80$ Region: High-spin rotation bands in ^{74}Kr , ^{78}Sr and ^{82}Zr [J]. Phys Rev, 1997, C56: 98– 117.
- [4] Kemnitz P, Ojeda P, Doring J *et al.* Collectivity and the Role of Two-proton and Two-neutron Excitations in ^{82}Kr [J]. Nucl Phys, 1984, A425: 493– 520.
- [5] Hellmeister H P, Keinonen J, Lieb K P *et al.* Band Structure of ^{78}Kr [J]. Phys Lett, 1979, 85B: 34– 37.
- [6] Soundranayagam R R, Ramavataram S, Ramayya A V *et al.* Two-quasiparticle-plus-rotor Model Calculations of $^{76,78,80}\text{Kr}$ [J]. Phys Rev, 1982, C25: 2 983– 2 989.
- [7] Gross C J, Heese J, Lieb K P *et al.* Band Crossings and Near-rigid Rotation in ^{76}Kr and ^{78}Kr [J]. Nucl Phys, 1984, A425: 367– 400.
- [8] Nazarewicz W, Dudek J, Bengtsson R *et al.* Microscopic Study of the High-spin Behaviour in Selected $A \approx 80$ Nuclei [J]. Nucl Phys, 1985, A435: 397– 447.
- [9] Tripathy K C, Sahu R. Collective Bands and Yrast Band Alignments in ^{78}Kr [J]. Nucl Phys, 1996, A597: 177– 187.
- [10] Winter G, Dubbers F, Doring J *et al.* On the Irregularities in the Band Structures of ^{78}Kr [J]. J Phys, 1985, G11: 277– 286.
- [11] Andreev D S, Erokhina K I, Lemberg Kh *et al.* Nauk SSSR [J]. Ser Fiz, 1982, 46: 22– 26.
- [12] Sun H, Doring J, Johns G D *et al.* New Band Structure and an Unpaired Crossing in ^{78}Kr [J]. Phys Rev, 1999, C59: 655– 664.
- [13] Ziegler J F, Biersack J P, Littmark U. In the Stopping and Range of Ions in Solids [M]. Pergamon, New York, 1985.
- [14] Kalbitzer S, Oetzmann H: Proc Int Conf On Ion Beam Modifications of Materials, Budapest, 1978.
- [15] Blaugrund A E. Notes on Doppler-shift Lifetime Measurements[J]. Nucl Phys, 1966, 88: 501– 512.

Prolate and Oblate Shapes Coexist in $^{78}\text{Kr}^*$

BAI Er-jun¹, WANG Zhi-kui², LI Xian-feng², MA Ying-jun², ZHAO Guang-yi²

LU Jing-bin², YIN Li-chang², SUN Hui-bin^{1,2}, HUO Jun-de²

(1 Nuclear Technology Institute, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

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

Abstract: Doppler-shift-attenuation lifetime measurements were performed in the $^{58}\text{Ni}(^{23}\text{Na}, 3\text{p})$ reaction at 70 MeV and $^{58}\text{Ni}(^{28}\text{Si}, \alpha 4\text{p})$ reaction at 130 MeV. By analyzing the Doppler-broadened line shapes of the 1 004 keV ($10^- \rightarrow 8^-$) negative-parity transition in coincidence with depopulating transitions, the lifetime of the 10^- state has been deduced as $\tau = (2.2 \pm 0.3)$ ps. A similar analysis of 873 keV ($8^- \rightarrow 6^-$) transition gave values of $\tau = (1.6 \pm 0.2)$ ps for the 8^- state. The measured level lifetimes support the nearly prolate shape of the negative-parity band. In contrast to an oblate shape for the yrast band, we suggest that prolate and oblate shapes coexist in ^{78}Kr .

Key words: high-spin states; Doppler-shift-attenuation; lifetime; shapes coexist