

^{76}Kr 的激发态寿命测量

赵之正 孙锡军

(中国科学院近代物理研究所)

R. B. Piercey J. H. Hamilton

C. F. Maguire A. V. Ramayya

(范德毕尔特大学物理系)

R. L. Robinson H. J. Kim

(田纳西州橡树岭国家实验室)

J. C. Wells

(田纳西技术大学物理系)

摘 要

本工作用多普勒移动衰减法测量了 ^{76}Kr 的正宇称 $yrast$ 态, γ 振动带和负宇称带的激发态寿命, 确定了 ^{76}Kr 的十三个激发态的寿命或合成馈送时间。上述三个带中的每一个带都具有很强的集体性, 跃迁强度高达 100 多个单粒子单位。

引 言

过去几年内在 Vanderbilt 大学和 Oak Ridge 国家实验室的合作研究下, 揭示了在 $A = 60-80$ 核区的许多集体带结构^[1]。在已报道过的各种不同的结构中, 有建立在球形上但与基态带十分不同的带、 γ 振动带、建立在质子和中子 $(g_{9/2})^2$ 组态上的两个准粒子加转子带(称为转动排列 RAL) 和仅包括一个 $g_{9/2}$ 质子或 $g_{9/2}$ 中子的负宇称两个准粒子加转子带^[1]。在 ^{76}Kr 中已报道的 $yrast$ 能级的 $B(E2)$ 值^[2]与玻色子互作用近似模型(IBA)^[3]的预言相一致, 即随角动量的增加, $B(E2)$ 值下降。而且这个下降被认为是 IBA 正确性的证明。但是从 12-10 和 10-8 两个跃迁抽取寿命, 由于这两个跃迁有基本相同的能量而复杂化了, 所以没有强烈的证据可以确认 $B(E2)$ 值是下降的。我们在研究中发现相邻偶偶核 ^{80}Kr 中 8^+ 能级上的分叉, 这被解释为基态带 gsb 和建立在 $(g_{9/2})^2$ 组态上的 RAL 带的交叉。我们把 ^{76}Kr 的 14^+ 和 16^+ 的高自旋态也解释为 RAL 带的成员, 这不同于 Hellmeister 等人^[2]的解释, 他们认为这些高自旋态是基态带的延长。为了研究上述问题, 我们用多普勒移动衰减法(DSAM)测量了相邻核 ^{76}Kr 的能级寿命。 ^{76}Kr 的 $yrast$ 能级寿命显示出它是在这一质量区中所发现的具有最强集体性的能级。

实验方法

通过 $^{66}\text{Zn}(^{12}\text{C}, 2n)$ 反应产生激发的 ^{76}Kr 核。用 39MeV 碳束打厚靶。用分别与束流方向成 0° 和 90° 角的大 Ge(Li) 探测器获取 γ - γ 符合数据。 ^{76}Kr 的衰变图已有初步报告^[4]，最完全的形式如图 1 所示。现在的工作是由 0° 符合谱以 DSAM 方法抽取能级寿命。从 γ - γ 双维谱获得 0° 符合谱的方法，是在 90° 方向的谱上选定一个 γ 射线峰作为符合门，即可得到与该射线符合的 0° 符合谱。这一工作是在计算机上完成的。本工作中符合谱是将符合门设置在我们感兴趣的能级以下的 γ 跃迁能量上(称为下门)，而有时是在上面的跃迁(称为上门)得到的。在某些情况中将符合门同时设置在二个或三个跃迁上得到符合和谱以改善统计。在 DEC-10 计算机上用 DOPCO 程序抽取寿命。

DSAM 可用于测量 10^{-13} — 10^{-11} 秒^[5] 的激发态寿命。反冲核在飞行中发射的 γ 射线具有能量移动，对 β 一次项来说能量移动为

$$\Delta E = \beta E_0 \cos \phi$$

这里 E_0 是核静止时发射的 γ 射线的能量， $\beta = \frac{V}{C}$ ， V 是反冲核速度， C 为光速， ϕ 是反冲核方向和 γ 探测器方向之间的夹角。在上述寿命范围内零度多普勒移动谱线形状是在 γ 峰高能边有个尾部。用已知阻止本领和反冲核初速度，这个多普勒移动的线形可以选用不同寿命进行计算。这样，计算中只有能级寿命是未知数。将计算谱和实验谱进行最小二乘拟合即可获得最佳的能级寿命。总阻止本领通常被看作是两个独立的相互作用引起的：一个是离子与物质中的电子相互作用；另一个是核子-核子相互作用。我们以无量纲量 ρ 和 ε 写出约化阻止本领为

$$\left. \frac{d\varepsilon}{d\rho} \right|_s = \left. \frac{d\varepsilon}{d\rho} \right|_n + \left. \frac{d\varepsilon}{d\rho} \right|_e$$

这里 $\varepsilon = E(aA_2)/[Z_1Z_2e^2(A_1 + A_2)]$

$$\rho = x(NA_1A_24\pi a^2)/(A_1 + A_2)^2$$

$$a = a_0 \cdot 0.8853(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{-1}$$

这些公式中 $A_1(A_2)$ 和 $Z_1(Z_2)$ 是炮弹(靶)的原子质量和原子序数， a_0 是玻尔半径。在这些计算中，我们对总阻止本领的核子部分 $\left. \frac{d\varepsilon}{d\rho} \right|_n$ 采用由众所周知的卢瑟夫散射过程导出的玻尔公式。对 $\varepsilon = 1$ 这一点，在总阻止本领公式中有最小值。这个最小值的深度可以对多普勒谱线的移动与不移动部分的结合部的拟合有很大影响，但对测量寿命并不产生重要误差。虽然 Kalbitzer 等人^[6] 给出了一个较好的公式，但是我们仍然用了玻尔公式，因为它更简单和更为人们所熟习。

寿命抽取对总阻止本领的电子部分比较灵敏，因为在计算所涉及的大部分速度范围内它比核子阻止本领大得多。计算任意炮弹-靶系统的电子阻止本领的尝试一般来说是不成功的，然而对大量的炮弹-靶系统组合的实验数据和数据的数值内插表是有的^[7,8]。在我们的计算中， ^{76}Kr 在 ^{66}Zn 中的电子阻止本领取自 Northcliff 和 Schilling^[7] 的值。但已知这个表对某些靶有较大误差，这些误差以依赖于 Z_2 的振荡形式出现。我们按照 Ward 等人^[9] 的建议，以 Ziegler 和 Chu^[8] 的 α 粒子在 ^{66}Zn 中的阻止本领修正了 Northcliff 和

Schilling 的数据。修正后的值由下式给出

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)^{N-s} \cdot \left(\frac{dE}{dx}\right)^{Z-c}}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_a^{N-s}}$$

上式中角标 $N-s$ 和 $Z-c$ 分别表示 Northcliff-Schilling 和 Ziegler-Chu 的数据, 修正量约为 17%, 最终的电子阻止本领精确性好于 10%。

反冲核慢化到很低速度时, 多次核子碰撞变得十分重要。多次散射的效应使反冲核速度在初始反冲方向上的分量减少, 并且由 Blaugrund 公式^[10]可以近似计算出平均散射角 $\cos\phi$ 。在寿命抽取中还必须作其它一些修正, 包括炮弹在靶中的慢化、 γ 射线角分布、探测器立体角和来自更高能态的馈送时间影响。某些寿命值是初步的, 因为我们假设非分立的边馈送有非常短的寿命。在下面的一种情况中我们将明确地说明这个假设是不正确的。

在基态带中两个最高能级的寿命由 0° 探测器的单谱抽取, 其他均由符合谱抽取。从图 2 可见, 观察到的最高 yrast 能级显示出较大的多普勒移动, 此时寿命很容易被抽取。把符合门设置在所讨论的跃迁上面或下面都可获得符合谱。通过符合谱提取寿命可以消除来自其他反应道的跃迁的竞争。但是对弱跃迁则降低了统计精度, 并且由于多普勒尾部的不确定性引入大的误差。由上、下门数据的比较我们可以获得未知的边馈送寿命的数据。

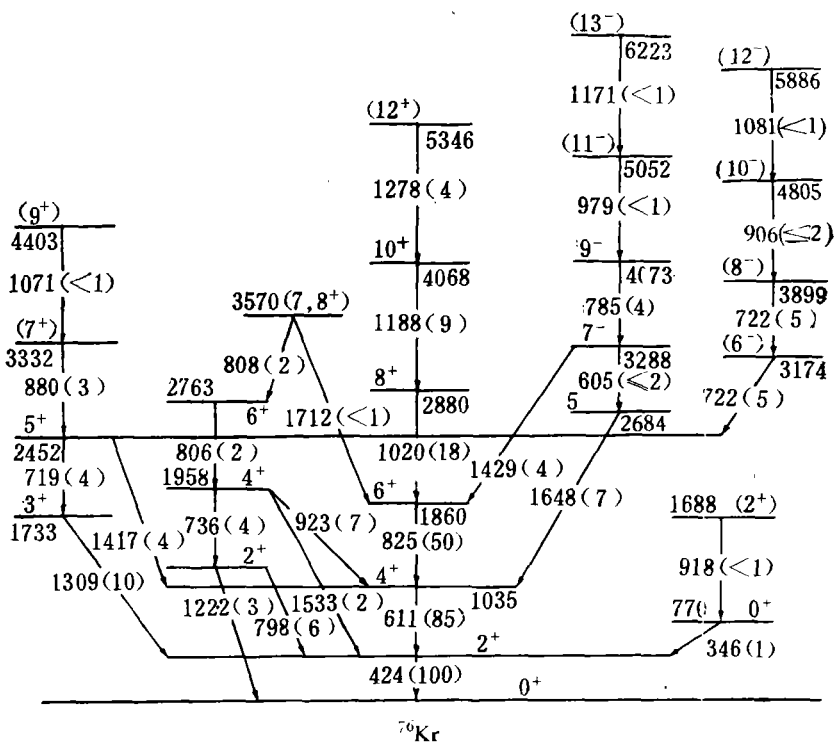


图 1 由 $^{12}\text{C}(^{66}\text{Zn}, 2n)^{76}\text{Kr}$ 反应获得的能级图

结 果

表1是基态带和其它能级的寿命计算结果。拟合的一个例子表示在图3中。在 12^+ 以上没有观察到其它态,因为馈送到 12^+ 态的馈送时间未知,所以只获得了合成馈送时间。显然该能级的寿命要比合成寿命短得多。

把符合门设置在 $6^+ \rightarrow 4^+$ 跃迁的上面和下面,跃迁所得到的 6^+ 态寿命表明,对该能级来说边馈送寿命是可以忽略的(即上门和下门得到的 6^+ 态的寿命是相同的)。在 $8^+ \rightarrow 6^+$ 跃迁上,下门也有类似相同的寿命,但误差稍大($\sim 15\%$)。另一方面馈送时间对 $9^- \rightarrow 7^-$ 跃迁是重要的。由上门(对测量的合成寿命作修正)和下门所得到的 9^- 态的十分不同的寿命表明,占馈送到 9^- 能级成份75%以上的是来自未观察到的边馈送成份,并有大大出乎

表1 能级寿命或合成馈送时间和跃迁强度

$E_{\text{能级}}$ (KeV)	$E_{r_{11}}$ (KeV)	$I_i - I_f$	$\tau_{\text{平均}}$ (误差) (ps)	$B(E2)/B(E2)_{sp}$
424	424	$2^+ \rightarrow 0^+$	37(5) ³⁾	84(12)
1035	611	$4^+ \rightarrow 2^+$	5.0(20)	$100^{67^{4)}$ 28
1860	825	$6^+ \rightarrow 4^+$	1.25(12)	89(8)
2880	1020	$8^+ \rightarrow 6^+$	0.30(3)	129(13)
4068	1188	$10^+ \rightarrow 8^+$	0.14(2)	129(19)
5346	1278	$(12^+) \rightarrow 10^+$	0.24(5) ¹⁾	52(11) ¹⁾
6223	1171	$(13^-) \rightarrow (11^-)$	0.34(8) ¹⁾	57(14) ¹⁾
5052	979	$(11^-) \rightarrow 9^-$	0.18(7)	264^{242} 74
4073	785	$9^- \rightarrow 7^-$	0.51(11) ¹⁾	$281^{77^{1)}$ 55
			0.16(6) ²⁾	895^{538} 244
3288	1429	$7^- \rightarrow 6^+$	0.37(6)	
	605	$7^- \rightarrow 5^-$		$863^{170^{5)}$ 121
4403	1071	$(9^+) \rightarrow (7^+)$	0.42(10) ¹⁾	$72^{23^{1)}$ 14
3332	880	$(7^+) \rightarrow 5^+$	1.03(3) ¹⁾	79(3) ¹⁾
2452	1417	$5^+ \rightarrow 4^+$	1.1(4) ¹⁾	$3.4^{(8^{1),5)}$ 5
	719	$5^+ \rightarrow 3^+$		$101^{(22^{1),5)}$ 16
1953	736	$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	1.3(4) ¹⁾	$47^{21^{1),5)}$ 11
	923	$4_2^+ \rightarrow 4^+$		$27^{10^{1),5)}$ 6
	1533	$4_2^+ \rightarrow 2^+$		0.6(2) ^{1),5)}

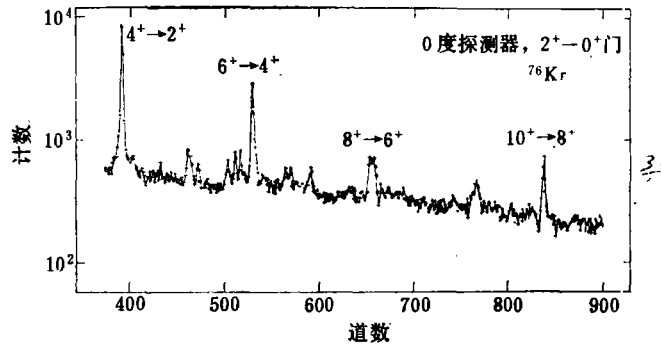
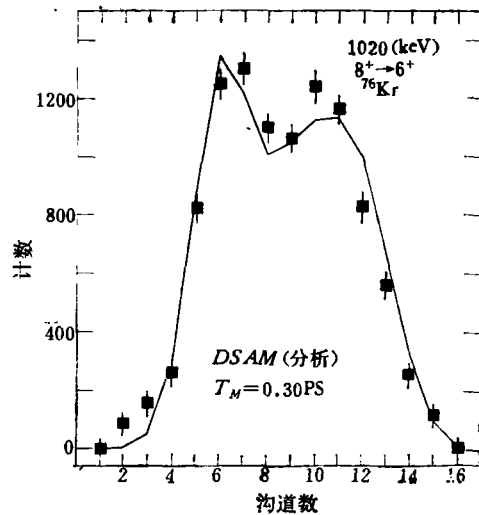
1) 合成寿命和合成 $B(E2)$ 同单粒子 $B(E2)$ 比较。

2) 由跃迁上门获得的寿命。

3) Nolte 等人的数据^[11]。

4) 由本文和 Nolte 等人^[11]的数据的平均值为 5.4ps 计算。

5) 用 r 分枝比和混合比 δ 计算见文献[4]。

图 2 以 2^+-0^+ 424KeV γ 峰作为门的符合谱图 3 ^{76}Kr 的 8^+-6^+ 1020KeV 跃迁的实验和计算谱线

意料的可测寿命。(见表 1)

基态带的跃迁强度表明, ^{76}Kr 具有在这一核区中已知的最强集体 $B(E2)$ 值, 这同 ^{80}Kr 到 ^{76}Kr 的第一个 2^+ 态能量的连续下降相一致。基态带的 $B(E2)$ 强度稍有上升, 显示转动的性质逐渐加强, 这些不同于纯振动模型。

测到的负宇称能级平均寿命意外地小, 以致 $(11^-)-9^-$, $9^- - 7^-$, $7^- - 5^-$ 跃迁具有特别大的 $B(E2)$ 值, 但我们不理解这样大的 $B(E2)$ 值的起因。 (13^-) 态的寿命是合成寿命。对 γ 型振动带, 能够得到的仅是合成寿命, 虽然用了长于能级寿命的合成寿命, 但这个带仍展示了大的集体强度, 它的集体性同附近其它核^[1]的发现相一致。关于这一规律已经建立了高集体性和稳定的核激发模式。关于 ^{76}Kr 研究工作的详细情况不久将有新的报告。

我们感谢美国能源部对本研究的支持。同时感谢 Oak Ridge 国家实验室提供了实验条件和多方合作。

参 考 文 献

- [1] J. H. Hamilton, R. L. Robinson and A. V. Ramayya, Nuclear interactions, edited by B. A. Robson (Springer Verlag, Berlin, 1979), 253 and J. H. Hamilton, R. L. Robinson and A. V. Ramayya, *Physica Energiae Fortis Physica Nuclearis*, Vol. 3, No. 3 (1979), 355.
- [2] H. P. Hellmeister et al., *Phys. Lett.*, **85B** (1979), 34.
- [3] A. Gelberg and U. Kaup, in *Workshop on interacting Boson*, edited by F. Iachello (Erice, 1978).
- [4] R. B. Piercey, A. V. Ramayya, J. H. Hamilton, C. F. Maguire, R. L. Robinson, H. J. Kim and J. C. Wells, Nuclear interactions, edited by B. A. Robson (Springer Verlag, Berlin, 1979) 404 and Private communication.
- [5] T. K. Alexander and J. S. Forster, *Advances in Nuclear Physics* Vol. **10** (1978), 197.
- [6] S. Kalbitzer, H. Oetzmann, H. Grahmann and A. Feuerstein, *Z. Physik*, Vol. **A278** (1976), 223.
- [7] L. C. Northcliff and R. F. Schilling, *Nucl. Data Tables*, **7**, No. 3—4 (1970), 8.
- [8] J. F. Ziegler and W. K. Chu, *Atomica and Nuclear Data*, Vol. **13** (1979), 463.
- [9] D. Ward, J. S. Forster, H. R. Andrews, I. V. Mitchell, G. C. Ball, W. G. Davies and G. J. Costa. Atomic Energy of Canada Limited Report, AECL-5813.
- [10] A. E. Blaugrund, *Nucl. Phys.*, Vol. **88** (1966), 501.
- [11] E. Nolte et al., *Z. Phys.*, Vol. **268** (1974), 267.

LIFETIME MEASUREMENTS OF EXCITED STATES IN ^{76}Kr

ZHAO ZHI-ZHENG SUN XI-JUN

(Institute of Modern Physics, Lanchow People's Republic of China)

R. B. PIERCEY J. H. HAMILTON

C. F. MAGUIRE A. V. RAMAYYA

(Physics Department, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee 37235)

R. L. ROBINSON H. J. KIM

(Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 37830)

J. C. WELLS

(Physics Department, Tennessee Technological University, Cookeville, Tennessee 38501)

ABSTRACT

Lifetimes of excited states in the even parity yrast, γ -type vibrational and negative parity Band in ^{76}Kr were measured by the Doppler shift attenuation method. The lifetimes or composite feeding times of thirteen excited states in ^{76}Kr were determined. The transitions in each of the three band are highly collective, and the transition intensity is the order of 100 single particle units or more.

更 正

原稿笔误更正: 本刊第5卷第6期689页公式(3.4)中误: $Z_{nj} \leq Z \leq Z_{n,j-1}$, $j = 0, 1, 2, 3, \dots, m_n$, 正: $Z_{n,j-1} \leq Z \leq Z_{n,j}$, $j = 1, 2, 3, \dots, m_n$. 690页13行误: $Z_{nj} \leq Z \leq Z_{n,j-1}$, 正: $Z_{n,j-1} \leq Z \leq Z_{n,j}$.