



## 利用多普勒移动衰减法研究 $^{46}\text{Ti}$ 核的激发态能级寿命

嘎达吉勒湖 谢萌冉 李健国 李广顺 Rohilla Aman 马鹏琮 曾凡斐 黄浩 郑鹏松 王建国 强赟华  
柳敏良 郭松 丁兵 张文强 方永得 周小红 李天晓 滑伟 程浩

### Studies on the Lifetimes of $^{46}\text{Ti}$ Excited States via the Doppler Shift Attenuation Method

GADA Jilehu, XIE Mengran, LI Jianguo, LI Guangshun, ROHILLA Aman, MA Pengcong, ZENG Fanfei, HUANG Hao, ZHENG Pengsong, WANG Jianguo, QIANG Yunhua, LIU Minliang, GUO Song, DING Bing, ZHANG Wenqiang, FANG Yongde, ZHOU Xiaohong, LI Tianxiao, HUA Wei, CHENG Hao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.40.2023021>

#### 引用格式:

嘎达吉勒湖, 谢萌冉, 李健国, 李广顺, Rohilla Aman, 马鹏琮, 曾凡斐, 黄浩, 郑鹏松, 王建国, 强赟华, 柳敏良, 郭松, 丁兵, 张文强, 方永得, 周小红, 李天晓, 滑伟, 程浩. 利用多普勒移动衰减法研究 $^{46}\text{Ti}$ 核的激发态能级寿命[J]. 原子核物理评论, 2023, 40(2):193–197. doi: 10.11804/NuclPhysRev.40.2023021

GADA Jilehu, XIE Mengran, LI Jianguo, LI Guangshun, ROHILLA Aman, MA Pengcong, ZENG Fanfei, HUANG Hao, ZHENG Pengsong, WANG Jianguo, QIANG Yunhua, LIU Minliang, GUO Song, DING Bing, ZHANG Wenqiang, FANG Yongde, ZHOU Xiaohong, LI Tianxiao, HUA Wei, CHENG Hao. Studies on the Lifetimes of  $^{46}\text{Ti}$  Excited States via the Doppler Shift Attenuation Method[J]. Nuclear Physics Review, 2023, 40(2):193–197. doi: 10.11804/NuclPhysRev.40.2023021

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

#### 大型壳模型计算中的截断效应对 $^{132}\text{Sn}$ 附近丰中子空穴核能级结构的影响

Truncation Effects in the Shell-model Calculations at Neutron-rich Hole Nuclei Close to  $^{132}\text{Sn}$   
原子核物理评论. 2017, 34(3): 488–492 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.34.03.488>

#### 放射性核素寿命计算方法的模拟研究

Simulation Study of Lifetime Calculation Methods for Radioactive Nuclides  
原子核物理评论. 2020, 37(3): 611–616 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.37.2019CNPC26>

#### Sn同位素的能级密度和熵

Level Densities and Entropy of Sn Isotopes  
原子核物理评论. 2021, 38(3): 250–255 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.38.2021044>

#### $^{46,50}\text{Ti}+^{124}\text{Sn}$ 熔合反应中耦合道效应的理论研究(英文)

Theoretical Study of the Coupled-channel Effects in Fusion Reactions  $^{46,50}\text{Ti}+^{124}\text{Sn}$   
原子核物理评论. 2017, 34(3): 539–544 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.34.03.539>

#### $^{192}\text{Tl}$ 高自旋态能级结构研究

High Spin Level Structure of  $^{192}\text{Tl}$   
原子核物理评论. 2017, 34(3): 465–468 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.34.03.465>

#### 一些近期发现的同核异能态的壳模型解释

Shell-Model Explanation on Some Newly Discovered Isomers



文章编号: 1007-4627(2023)02-0193-05

## 利用多普勒移动衰减法研究 $^{46}\text{Ti}$ 核的激发态能级寿命

嘎达吉勒湖<sup>1,2</sup>, 谢萌冉<sup>1,2</sup>, 李健国<sup>1,2,†</sup>, 李广顺<sup>1,2,†</sup>, Rohilla Aman<sup>3</sup>, 马鹏琮<sup>1,2</sup>, 曾凡斐<sup>1,2</sup>, 黄浩<sup>1,2</sup>, 郑鹏松<sup>1</sup>, 王建国<sup>1</sup>, 强赞华<sup>1</sup>, 柳敏良<sup>1</sup>, 郭松<sup>1</sup>, 丁兵<sup>1</sup>, 张文强<sup>1</sup>, 方永得<sup>1</sup>, 周小红<sup>1</sup>, 李天晓<sup>4</sup>, 滑伟<sup>5</sup>, 程浩<sup>6</sup>

- 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000;
- 中国科学院大学核科学与技术学院, 北京 100049;
- 山东大学空间科学与物理学院, 山东 威海 264209;
- 中国原子能科学研究院, 北京 100049;
- 中山大学中法核工程与技术学院, 广东 珠海 519082;
- 北京航空航天大学物理学院, 北京 100191)

**摘要:** 原子核的能级寿命直接反映了其内部的结构信息, 是核性质研究中一个十分重要的物理参量。本工作报道了依托兰州重离子加速器装置, 首次采取多普勒移动衰减法(DSAM)开展的原子核能级寿命测量。采取核反应 $^{12}\text{C}(^{36}\text{Ar}, 2\text{p})$ 来布居 $^{46}\text{Ti}$ 的高激发态, 利用新组建的大型高纯锗(HPGe)探测器阵列进行符合测量。根据 $\gamma$ 能谱分别提取了 $4^+$ 、 $5^-$ 、 $6^-$ 态的能级寿命, 并得到了这些态的跃迁概率。理论上采取大规模组态混合壳模型进行计算, 并得出了能级的组态信息。

**关键词:** 能级寿命; 多普勒移动衰减法; 壳模型计算; 能级组态

**中图分类号:** O571.53

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.40.2023021

## 0 引言

双幻核 $^{40}\text{Ca}$ 附近原子核的能级信息一直是核结构研究的一个热点。这类原子核核芯外的价核子数目较少时, 可以作为单粒子研究的良好对象, 其机制也可以通过壳模型进行较好的描述<sup>[1-3]</sup>。另一方面, 该核区的原子核也呈现出集体性甚至表现出形变。通过对这一核区原子核的研究, 人们可以更深入地理解核的单粒子自由度和集体自由度之间的竞争与转化。

已有的研究表明, 质量数在40附近的Ca、Sc、Ti等核的激发态中存在着球形结构与形变结构的共存<sup>[4-5]</sup>。然而, 在解释这些性质上, 目前的模型并不是很成功。例如在对 $^{46}\text{Ti}$ 低激发态的描述中, 壳模型的计算值与实验值还存在一定的偏差<sup>[6]</sup>。因此, 深入研究其性质还需要更多的实验信息, 一方面可以进一步检验理论模型, 另一方面又可以相互检验实验结果的准确性。在这之中, 原子核的能级寿命就是一个重要物理观测量。通过对能级寿命的提取, 来提取其跃迁概率, 进而研究跃迁的初态和末态的波函数等信息。

在实验中, 根据能级寿命的不同范围, 人们常采用

不同的测量方法<sup>[7]</sup>。对于 $\sim 100$  ps以上的能级寿命, 通过电子学定时的方法即可得到<sup>[8]</sup>。这种方法需要分别测量待研究能级上下两条 $\gamma$ 射线的发射时刻, 进而通过斜率法、卷积法、中心位移法等来提取能级寿命。对于 $\sim 1$  ps到 $\sim 100$  ps区间的能级寿命, 通常采用多普勒能移反冲距离法<sup>[9]</sup>(Recoil Distance Doppler Shift)。该方法通过研究 $\gamma$ 射线多普勒能移产生的飞行峰和阻停峰的变化关系来得到激发态的能级寿命。对于 $\sim 100$  fs到 $\sim 10$  ps区间的能级寿命, 人们通常采用多普勒移动衰减法<sup>[10]</sup>(Doppler Shift Attenuation Method, DSAM)。 $^{46}\text{Ti}$ 核激发态能级寿命恰好在该区间, 本工作将报道利用多普勒移动衰减法进行测量, 并结合壳模型程序进行物理机制的分析。

## 1 实验细节

实验在兰州重离子研究装置(HIRFL)<sup>[11]</sup>完成, 采用扇聚焦回旋加速器把 $^{36}\text{Ar}$ 离子加速到145 MeV的能量, 并轰击由聚醚醚酮(PEEK)材料制成的自支撑碳氢靶。靶厚度约 $9\text{ mg/cm}^2$ 用于核反应和阻停反应产物。

收稿日期: 2023-03-07; 修改日期: 2023-04-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(12121005, U1932138); 中国科学院战略性先导科技专项(B类)(XDB34010000)

作者简介: 嘎达吉勒湖(1999-), 男(蒙古族), 内蒙古包头人, 硕士研究生, 从事原子核物理研究; E-mail: gadajilehu22@mails.ucas.ac.cn

†通信作者: 李健国, E-mail: jianguo\_li@impcas.ac.cn; 李广顺, E-mail: lig@impcas.ac.cn

由于靶材料中 C 的比重占到了 75%，所以  $^{12}\text{C}(^{36}\text{Ar}, 2p)^{46}\text{Ti}$  反应为主反应道之一，而其它产物主要由  $^{45}\text{Ti}$  和  $^{45}\text{Sc}$  组成。实验采用新组建的大型 HPGe 探测器阵列进行  $\gamma$  射线的符合测量。该阵列由 15 台同轴型 HPGe 探测器和 6 台 Clover 型 HPGe 探测器组成，同轴型探测器分别放置在与束流呈  $26^\circ$ 、 $52^\circ$ 、 $128^\circ$ 、 $154^\circ$  的位置，Clover 型探测器放置在与束流呈  $90^\circ$  的方向上。其中每台同轴型 HPGe 探测器的相对效率 [12] 为 70%；每台 Clover 型探测器 [13] 由 4 块独立 HPGe 晶体组成，每块晶体的相对探测效率为 40%。为进一步提高  $\gamma$  能谱的峰总比，本次实验为 8 台同轴型 HPGe 配备了 BGO 反康普顿系统，其余探测器的锗晶体部分均采用厚度为 2.5 cm 的铅来屏蔽外界  $\gamma$  射线，实验中共获取了约  $8 \times 10^8$  个两重符合

事件。实验前后分别利用  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、和  $^{152}\text{Eu}$  源进行了能量和相对效率刻度。对于  $^{60}\text{Co}$  源发射的 1 332.5 keV 的  $\gamma$  射线，单个探测器得到的半高全宽在 2.5 keV 左右。

## 2 数据分析及讨论

### 2.1 数据分析

为了检验能级纲图，利用  $\gamma$ - $\gamma$  符合事件建立一个对称的符合矩阵。矩阵的两个轴分别放置符合的两个  $\gamma$  射线，在一个轴上选择相应能量进行开窗投影便可以得到与其相符合的  $\gamma$  能谱。本工作中通过符合关系所确立的  $^{46}\text{Ti}$  能级纲图如图 1 所示，其中  $\gamma$  射线能量和自旋值取自文献 [14]。

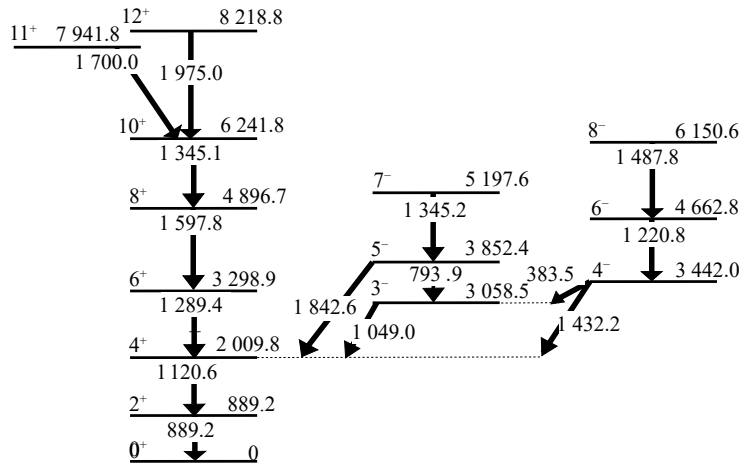


图 1 本工作确立的  $^{46}\text{Ti}$  能级纲图  
其中能级的自旋值和宇称值取自文献 [14]。

在能级寿命的提取过程中采用了 DSAM 方法。该方法被广泛用于 ps 量级寿命的测量。其原理是核反应中产生的目标核具有一定的运行速度，并在衬底 (在本实验中，靶以自身为衬底) 中被慢化以至于停止。由于目标核的早期运动速度比较快 (在本实验中，初始速度约为  $0.07c$ )，发射的  $\gamma$  光子会发生较为明显的多普勒频移，使得前角探测器测得的能量在 高能处有拖尾甚至移动，而后角探测器测得的能谱向低能处频移。与目标核运动方向垂直的探测器测到的能谱只有多普勒展宽，而没有拖尾。前后角探测器频移后能谱的形状依赖于原子核的能级寿命，因此可以对感兴趣的  $\gamma$  射线在不同角度探测器产生的能谱进行综合分析得到寿命测量值。在文献 [15-17] 中，作者也对 DSAM 方法进行了较为详细的讨论。

在数据分析中，利用两重的  $\gamma$ - $\gamma$  符合事件分别建立三个不对称的符合矩阵。在矩阵的第一个轴上，分别放

置  $52^\circ$ 、 $90^\circ$ 、和  $154^\circ$  位置探测器测到的  $\gamma$  射线，第二个轴放置除第一轴之外的所有角度探测器测得的  $\gamma$  射线。在三个矩阵的第二轴上选择能量分别进行开窗投影，可以得到对应符合的  $\gamma$  射线在不同角度的能谱。作为例子，图 2 展示了本次实验中 889.2 keV 能量开门得到的  $90^\circ$  位置探测器测得的能谱。本工作中所研究的 1 120.6, 1 220.8 和 1 842.6 keV 三条  $\gamma$  射线在不同角度探测器上产生的符

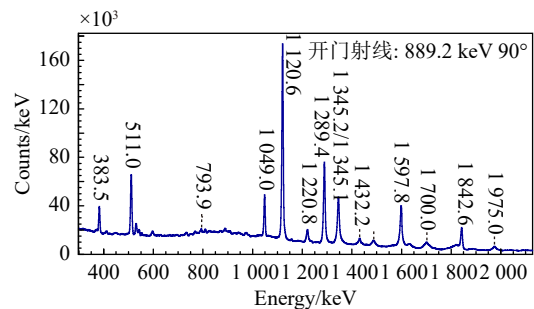


图 2 889.2 keV  $\gamma$  射线在  $90^\circ$  位置探测器对应的非对称矩阵中的开门谱 (在线彩图)

合谱(开窗能量为 889.2 keV)如图 3 所示。

在能谱分析过程中采用了 LINESHAPE 程序 [18]。该程序基于核反应统计模型，计算熔合蒸发反应的相应参数，并利用蒙特卡罗方法模拟反冲核在衬底中减速的过程。程序中的参数，如本底的斜率和截距、 $\gamma$  射线峰的半高宽和污染峰的位置等都会影响 LINESHAPE 的拟合值。根据实验能谱设定相应参数，并将理论计算得到的  $\gamma$  射线能谱与实验谱相比较，通过  $\chi^2$  检验可以得到与实验能谱最相吻合的拟合值。图 3 也给出了 LINESHAPE 程序对三个  $\gamma$  峰在不同角度的拟合值。从图中可以看出，在考虑沾污峰后的拟合结果与实验结果符合较好。本工作中得到的  $6^-$  态和  $4^+$  态的能级寿命与文献 [14] 评价值较为吻合，但是  $5^-$  态的能级寿命与文

献值有相对较大的偏差。在对  $5^-$  态进行分析时，考虑了实验测量的  $5^-$  态到  $3^-$  态的跃迁分支。需要指出的是，对于  $5^-$  态的能级寿命，Rammo 等 [19] 也利用 DSAM 的方法通过  $^{40}\text{Ar}(^9\text{Be}, 3n)^{46}\text{Ti}$  和  $^{43}\text{Ca}(\alpha, n)^{46}\text{Ti}$  反应进行了测量，但在该文章的报道中并没有给出多普勒峰形的拟合结果以及其它细节。其实验测量结果与我们的结果出现偏差的具体原因无从得知。我们还根据实验获得的能级寿命提取了与三个能级相对应的电四极约化跃迁概率  $B(E2)$  或电偶极跃迁概率  $B(E1)$  值。详细的对比列于表 1 中。

### 2.2 数据讨论

$^{46}\text{Ti}$  核位于双幻核  $^{40}\text{Ca}$  附近。在本研究中，选用大

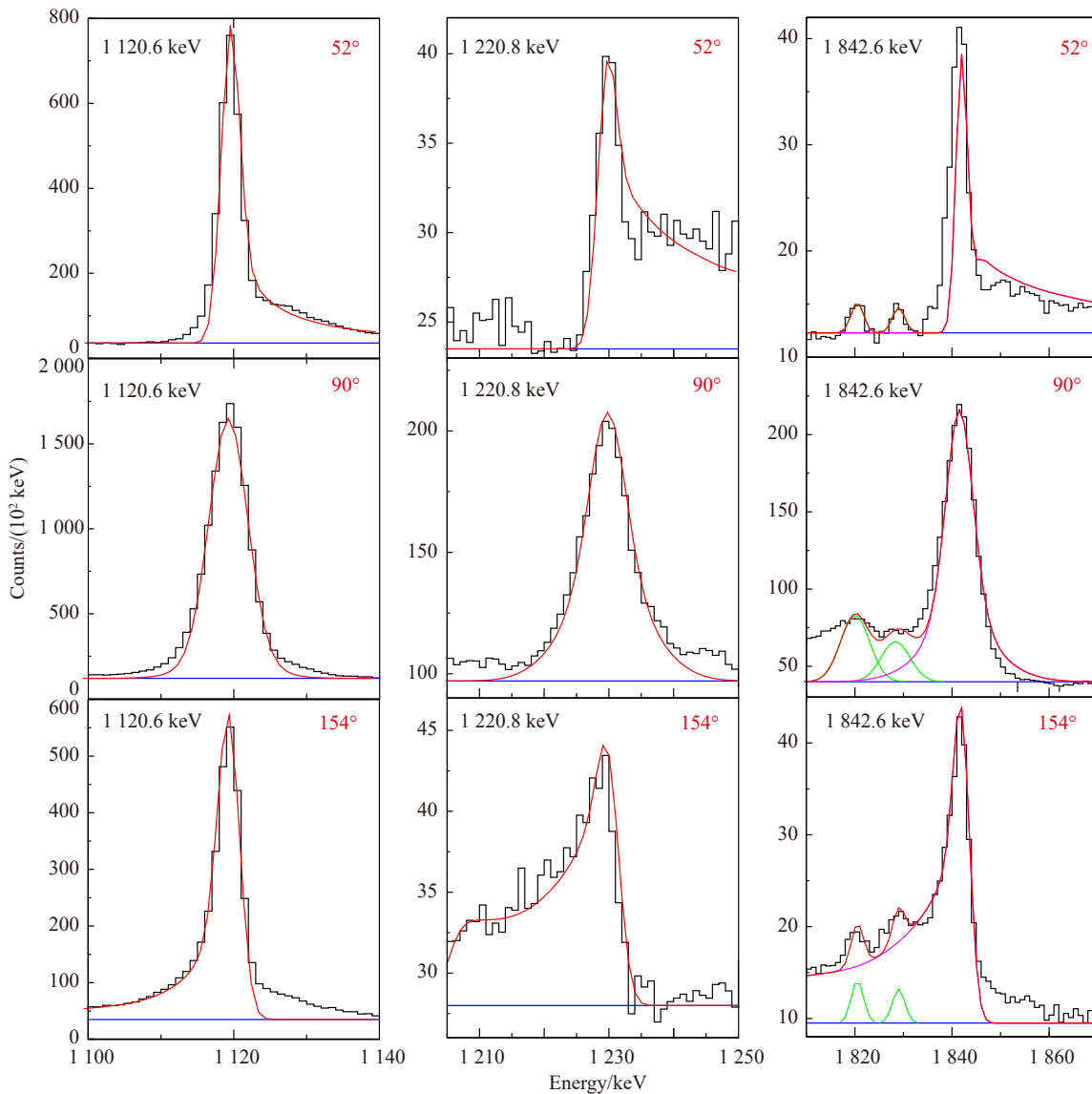


图 3 889.2 keV  $\gamma$  射线分别在不同角度探测器对应的不对称矩阵中得到的开门谱(在线彩图)

图中只展示了本工作中研究的 1 120.6, 1 220.8 和 1 842.6 keV  $\gamma$  射线的放大能谱(黑色实线部分)。彩色线所标识的为 LINESHAPE 程序的拟合结果。其中蓝色标识本底、绿色标识沾污峰、洋红色是不考虑污染峰的拟合结果、红色为考虑后的拟合结果。

表 1 使用 LINESHAPE 程序拟合实验数据得到的能级寿命值, 以及相对应的跃迁概率的实验和理论值

能量/keV	初末态 $J_i \rightarrow J_f$	能级寿命 $\tau$ /ps	$B(E1)$ /W.U.	$B(E2)$ /W.U.	理论值/W.U.	数据来源
1 120.6	$4^+ \rightarrow 2^+$	2.14(21)	-	22.0(20)	16.5	本工作
		2.20(43)				文献[14]
1 220.8	$6^- \rightarrow 4^-$	2.07(20)	-	12.4(11)	13.7	本工作
		2.02(57)				文献[14]
1 842.6	$5^- \rightarrow 4^+$	0.98(10)	$1.2(1) \times 10^{-4}$	-	$3.6 \times 10^{-4}$	本工作
		6.90(12)	$1.3(5) \times 10^{-5}$			文献[14]

规模组态混合壳模型<sup>[20-21]</sup>对此原子核的激发态以及电磁跃迁性质进行计算, 并与实验结果进行对比。在计算中, 选用较为普适的 SDPF-MU 有效相互作用<sup>[22]</sup>, 选取  $^{16}\text{O}$  为核芯, 价质子与价中子的模型空间均为  $\{0d_{5/2,3/2}, 1s_{1/2}, 0f_{7/2,5/2}, 1p_{3/2,1/2}\}$ 。对于  $^{46}\text{Ti}$ , 由于价质子与价中子数较多, 壳模型计算的维数巨大, 在实际的大规模壳模型计算中需要对模型空间进行截断。在本工作的计算中采用  $3\hbar\omega$  激发的截断, 并限制  $d_{5/2}$  轨道上的价质子与价中子无激发。价质子与价中子的有效电荷, 计算中选取为  $e_p = 1.5e$  和  $e_n = 0.5e$ 。为了较好地重现  $^{46}\text{Ti}$  负宇称的激发能, 将  $0f_{7/2,5/2}, 1p_{3/2,1/2}$  轨道的单粒子能调整  $-3\text{ MeV}$ 。最终得到的低激发态能级与实验对比如图 4。从图中可以看出, 大规模组态混合壳模型计算结果与实验符合较好, 实验值与理论结果的能级差异最大约为  $500\text{ keV}$ 。

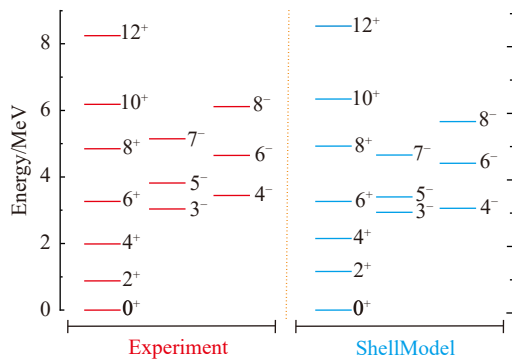


图 4  $^{46}\text{Ti}$  低激发态实验结果与大规模组态混合壳模型计算结果的对比(在线彩图)

壳模型计算中选用 SDPF-MU 相互作用。

在此基础上得到的  $^{46}\text{Ti}$  的轨道价核子占有数如图 5 所示, 其中上方带有阴影部分代表中子的单粒子轨道占有数, 下方为质子的单粒子轨道占有数。可以观察到, 对于正宇称能级而言, 随着自旋的上升, 中子和质子逐渐收敛到  $0f_{7/2}$  并在自旋值为  $11\hbar$  达到最大值。因为  $^{46}\text{Ti}$  极为接近  $^{48}\text{Cr}$ , 而  $^{48}\text{Cr}$  在  $0f_{7/2}$  壳层价核子数最大, 因此具有更强的集体特性<sup>[23]</sup>。由此可以推断出, 波函数主要受到来自  $0f_{7/2}$  轨道的贡献,  $1p_{3/2}, 0f_{5/2}, 1p_{1/2}$  也在其中有着一定作用。正如文献<sup>[24]</sup>的计算结果, 在自旋大于  $8\hbar$  后,  $1p_{3/2}, 0f_{5/2}, 1p_{1/2}$  等轨道的贡献可以忽略,

这意味着自旋仅仅通过  $0f_{7/2}$  轨道粒子的排列来构建。对于负宇称能级, 能级主要是由  $^{40}\text{Ca}$  中  $\pi 0d_{3/2}$  轨道上的单个质子激发到  $pf$  壳导致的。此外, 负宇称能级与正宇称能级具有相似的粒子数占据情况, 并且负宇称中  $1p_{3/2}$  轨道的贡献也比正宇称中大。

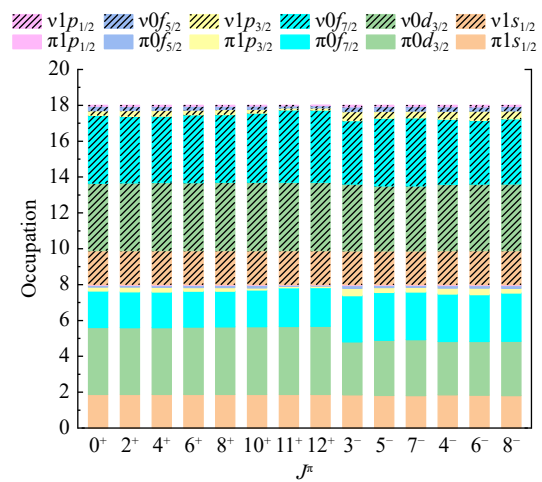


图 5 壳模型计算得到  $^{46}\text{Ti}$  中不同能级的轨道价核子占有数(在线彩图)

阴影部分代表中子的占有数, 纯色部分代表质子的占有数。

### 3 结论

通过  $^{12}\text{C}(^{36}\text{Ar}, 2p)^{46}\text{Ti}$  重离子熔合蒸发反应布居了  $^{46}\text{Ti}$  的高自旋态, 采用新组建的大型 HPGc 探测器阵列进行  $\gamma$  射线测量。利用 DSAM 的峰形分析法分析了  $4^+, 5^-, 6^-$  态的能级寿命, 并进而提取了对应的跃迁概率值。实验值在  $4^+$  态和  $6^-$  态与文献值符合较好, 在  $5^-$  态上却有一定偏差。理论上采取壳模型进行计算, 选取 SDPF-MU 相互作用, 得到了与实验激发能和跃迁概率值较为符合的结果。此外还计算了各个能级的轨道价核子占有数。研究表明, 随着自旋上升  $0f_{7/2}$  轨道在波函数中占据主导位置。

### 参考文献:

- [1] CAURIER E, ZUKER A P, POVES A, et al. *Phys Rev C*, 1994, 50(1): 225.
- [2] CAURIER E, EGIDO J L, MARTÍNEZ-PINEDO G, et al. *Phys Rev Lett*, 1995, 75(13): 2466.

- [3] ARNSWALD K, BRAUNROTH T, SEIDLITZ M, et al. *Phys Lett B*, 2017, 772: 599.
- [4] BRANDOLINI F, OLIVEIRA J, MEDINA N H, et al. *Phys Rev C*, 2004, 70(3): 034302.
- [5] BEDNARCZYK P, STYCZEŃ J, BRODA R, et al. *The European Physical Journal A-Hadrons and Nuclei*, 1998, 2(2): 157.
- [6] MEDINA N, OLIVEIRA J, BRANDOLINI F, et al. *Phys Rev C*, 2011, 84(2): 024315.
- [7] NOLAN P J, SHARPEY-SCHAFFER J F. *Reports on Progress in Physics*, 1979, 42(1): 1.
- [8] LI C, WU X, LI X, et al. *Phys Rev C*, 2012, 86(5): 057303.
- [9] ZHU B, LI C, WU X, et al. *Phys Rev C*, 2017, 95(1): 014308.
- [10] YAO S, MA H, ZHU L, et al. *Phys Rev C*, 2014, 89(1): 014327.
- [11] ZHAN W, XIA J, ZHAO H, et al. *Nuclear Physics A*, 2008, 805(1-4): 533c.
- [12] LEE I, DELEPLANQUE M, VETTER K, et al. *Reports on Progress in Physics*, 2003, 66: 1095.
- [13] DUCHÊNE G, BECK F, TWIN P, et al. *Nucl Instr and Meth A*, 1999, 432(1): 90.
- [14] WU S C. *Nuclear Data Sheets*, 2000, 91(1): 1.
- [15] ALEXANDER T, FORSTER J. *Bar anger-Vogt*, 1978, 10: 258.
- [16] ROHILLA A, LI G, QIANG Y, et al. *Nuclear Physics A*, 2021, 1006: 122116.
- [17] ROHILLA A, LI G, WANG J, et al. *Nuclear Physics Review*, 2020, 37(3): 542. (in Chinese)  
(ROHILLA A, 李广顺, 王建国, 等. *原子核物理评论*, 2020, 37(3): 542.)
- [18] WELLS J, JOHNSON N. Report No ORNL-6689[R]. Oak Ridge:Oak Ridge National Laboratory, 1991: 44.
- [19] NRF R, PJ N, AN J, et al. *J Phys G*, 1982, 8: 101.
- [20] CAURIER E, MARTÍNEZ-PINEDO G, NOWACKI F, et al. *Reviews of Modern Physics*, 2005, 77(2): 427.
- [21] OTSUKA T, GADE A, SORLIN O, et al. *Reviews of Modern Physics*, 2020, 92(1): 015002.
- [22] UTSUNO Y, OTSUKA T, BROWN B A, et al. *Phys Rev C*, 2012, 86(5): 051301.
- [23] BUCURESCU D, UR C, LENZI S, et al. *Phys Rev C*, 2003, 67(3): 034306.
- [24] ZUKER A, RETAMOSA J, POVES A, et al. *Phys Rev C*, 1995, 52(4): R1741.

## Studies on the Lifetimes of $^{46}\text{Ti}$ Excited States via the Doppler Shift Attenuation Method

GADA Jilehu<sup>1,2</sup>, XIE Mengran<sup>1,2</sup>, LI Jianguo<sup>1,2,†</sup>, LI Guangshun<sup>1,2,†</sup>, ROHILLA Aman<sup>3</sup>, MA Pengcong<sup>1,2</sup>, ZENG Fanfei<sup>1,2</sup>, HUANG Hao<sup>1,2</sup>, ZHENG Pengsong<sup>1</sup>, WANG Jianguo<sup>1</sup>, QIANG Yunhua<sup>1</sup>, LIU Minliang<sup>1</sup>, GUO Song<sup>1</sup>, DING Bing<sup>1</sup>, ZHANG Wenqiang<sup>1</sup>, FANG Yongde<sup>1</sup>, ZHOU Xiaohong<sup>1</sup>, LI Tianxiao<sup>4</sup>, HUA Wei<sup>5</sup>, CHENG Hao<sup>6</sup>

(1. Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. School of Nuclear Science and Technology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. School of Space Science and Physics, Institute of Space Sciences, Shandong University, Weihai 264209, Shandong, China;

4. China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China;

5. Sino-French Institute of Nuclear Engineering and Technology, Sun Yat-Sen University, Zhuhai 519082, Guangdong, China;

6. School of Physics, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** Lifetimes of nuclear excited states are related to its internal structure, and considered as one of most important values in the nuclear property studies. In this paper, we report the first lifetime measurements of nuclear excited states at the HIR-FL facility via Doppler Shift Attenuation Method(DSAM). The excited states of  $^{46}\text{Ti}$  were populated by the  $^{12}\text{C}(^{36}\text{Ar}, 2p)$  reaction, and coincidence measurements were performed by the newly upgraded HPGe detector array. Lifetimes of  $4^+$ ,  $5^-$ , and  $6^-$  states were extracted from the gated spectra, and corresponding transition probabilities were deduced. Further theoretical calculations have been performed using the large scale configuration-mixing shell model, and configurations of those states are suggested.

**Key words:** lifetime; DSAM; shell model calculation; level configuration

**Received date:** 07 Mar. 2023; **Revised date:** 07 Apr. 2023

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(12121005, U1932138); Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences (XDB34010000)

† **Corresponding author:** LI Jianguo, E-mail: [jianguo\\_li@impcas.ac.cn](mailto:jianguo_li@impcas.ac.cn); LI Guangshun, E-mail: [ligs@impcas.ac.cn](mailto:ligs@impcas.ac.cn)