

# $^{117}\text{Xe}$ 负宇称同质异能态寿命测量\*

刘 忠 孙相富 郭应祥 雷祥国 陈新峰 周小红

张玉虎 金寒涓 罗亦孝

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

温书贤 袁观俊 李广生 杨春祥 刘详安

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

1996-09-10 收稿

## 摘 要

利用在束 $\gamma$ 实验方法对 $^{117}\text{Xe}$ 的激发态进行了 $\gamma$ - $\gamma$ - $t$ 延迟符合测量,从 $^{117}\text{Xe}$ 的401keV( $15/2^- \rightarrow 11/2^-$ )和205keV( $7/2^- \rightarrow 5/2^+$ )两 $\gamma$ 跃迁的延迟符合时间谱中,提取出 $T_{1/2} = (59 \pm 20)\text{ns}$ 和 $(16.5 \pm 8.0)\text{ns}$ 两个半寿命,并将其分别指定给了 $11/2^-$ 、 $7/2^-$ 两个能级.

**关键词** 同质异能态寿命,  $\gamma$ - $\gamma$ - $t$  延迟符合, 约化跃迁几率.

中子数  $N < 70$  的奇  $A$  Xe 核的中子费米面位于  $h_{11/2}$  子壳的中部,其  $h_{11/2}$  转动带的低自旋态 ( $I \leq 11/2$ ) 之间能级间隔很小,容易形成寿命较长的同质异能态(如 $^{119,121,123}\text{Xe}$  的  $7/2^-$ 、 $11/2^-$ )<sup>[1,2]</sup>. 根据奇  $A$  Xe 同位素的系统性,推断 $^{117}\text{Xe}$  的  $11/2^-$ 、 $7/2^-$  也可能是同质异能态. 对 $^{117}\text{Xe}$  的激发态进行研究时<sup>[3]</sup>发现,在401keV的瞬时拉门谱中(符合测量的符合时间为40ns)205keV  $\gamma$ 峰被延迟<sup>[4]</sup>,说明在401keV与205keV两跃迁之间存在较长寿命同质异能态. 为此,在第二轮实验中进行了延迟符合测量,来确定 $^{117}\text{Xe}$  同质异能态寿命.

实验是在中国原子能科学研究院 HI-13MV 串行加速器上进行的. 所选束流和靶与前一轮<sup>[3]</sup>相同,即利用熔合蒸发反应 $^{92}\text{Mo}(^{28}\text{Si}, 2\text{pn})$ 布居 $^{117}\text{Xe}$ 的激发态, Si 束流能量为115MeV. 用7台高纯锗反康谱仪记录 $\gamma$ 射线能量,并用一台小平面锗探测器测量低能 $\gamma$ 射线,所用电子学线路如图1所示<sup>[5]</sup>. 符合时间设置为200ns,虚线框内部分为延迟符合时间测量电路. 一个符合事件中最先到的 $\gamma$ 线给时幅转换器(TAC)关门,第二个到的给TAC

\* 国家自然科学基金(项目号19275055)和中科院“八五”重大项目资助.

开门,这样可以得到一个两重符合事件中两条 $\gamma$ 线间的时间差.实验中共获取了约 $45 \times 10^6$ 个 $\gamma$ - $\gamma$ - $t$ 符合事件,其中的两重符合事件可用来反演两 $\gamma$ 线延迟符合时间谱,求它们之

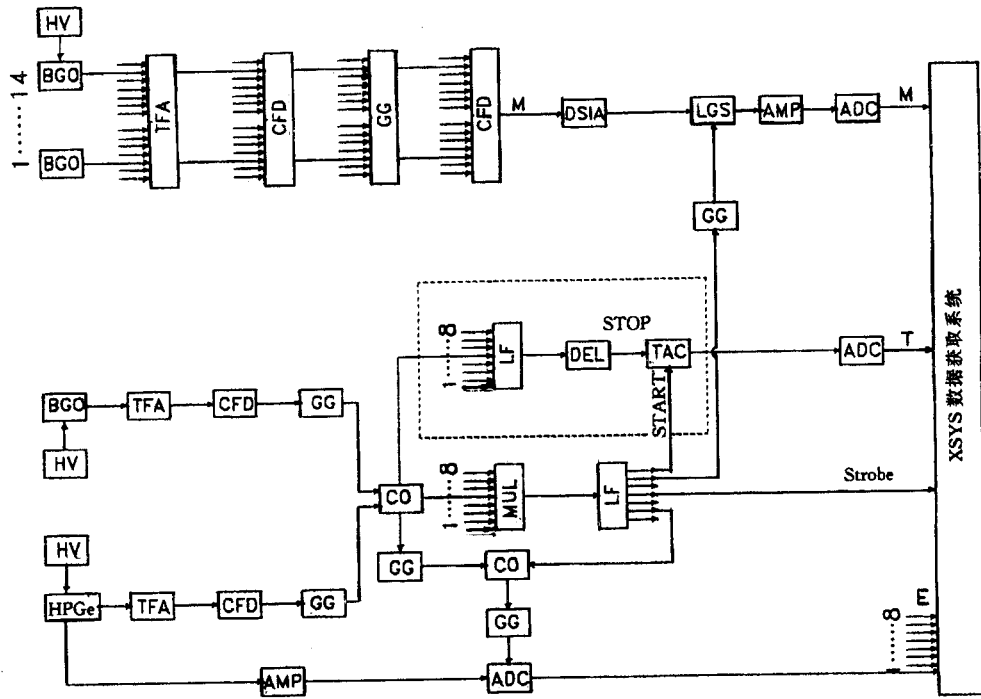


图1 本实验中所用 $\gamma$ - $\gamma$ - $t$ 延迟符合测量电子学线路框图

间同质异能态寿命.

假设 $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 是核退激时先后发射的两条 $\gamma$ 线,它们之间时间间隔的分布函数为 $f(t)$ ,是 $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 之间能级寿命的函数.一个标准的延迟符合测量电路中,由固定的探测器给TAC开门或关门,测到的是两 $\gamma$ 线间的相对时间差,从延迟时间能推断出信号到达的先后次序.若其瞬时符合曲线为 $P(t)$ ,则它测得的 $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 之间的延迟时间 $t_d$ 的分布为<sup>[6]</sup>:

$$F(t_d) = \int_0^{\infty} f(t) P(t - t_d) dt, \quad (1)$$

图1所示的延迟符合电路是标准延迟符合测量电路的一个变换,测出的是两信号时间差的绝对值,即两探头信号时间相差 $\pm \Delta t$ 时,得到的延迟时间相同.测得的瞬时符合时间谱是标准瞬时谱的一半(图2(a)),延迟时间谱 $Y(t_d)$ 与在标准电路中测到的延迟时间谱 $F(t_d)$ 有如下关系:

$$Y(t_d) = F(t_d) + F(-t_d) = \int_0^{\infty} f(t) [P(t - t_d) + P(-t - t_d)] dt, \quad (t_d \geq 0), \quad (2)$$

即将 $F(t_d)$ 的 $t_d < 0$ 部分反演并叠加在 $t_d > 0$ 部分.

由于 $^{117}\text{Xe}$ 的 $11/2^- \rightarrow 7/2^-$ 的24keV跃迁能量太低,而且其内转换电子系数非常大( $\sim 520$ ),所以即使在小平面锗探测器上也很难观察到它的峰,因而无法用24keV与

205keV, 及 24keV 与 401keV 的符合时间谱直接测出  $7/2^-$ 、 $11/2^-$  两个态的寿命. 为此我们用产生  $11/2^-$  态的 401keV 和退激  $7/2^-$  态的 205keV 这两条很强的符合跃迁来确定存在的同质异能态寿命.

图 2(b) 给出了利用两重  $\gamma$  符合事件反演得到的 401keV 和 205keV 两  $\gamma$  线之间的延迟符合时间谱, 其中与两  $\gamma$  线峰下本底有关的时间谱可用邻近本底的时间谱来近似, 已被减去, 因此该谱是两  $\gamma$  线的峰-峰符合时间谱, 其形状与同位素衰变链中母子体放射性活度随时间变化曲线相似, 表明 401keV 与 205keV  $\gamma$  线间的  $11/2^-$ 、 $7/2^-$  两个态都是同质异能态. 所以 401keV 与 205keV  $\gamma$  线间的时间间隔分布  $f(t)$  与两能级的寿命都有关:

$$f(t) = A \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (3)$$

$^{117}\text{Xe}$  的  $h_{11/2}$  带中  $11/2^-$  以上的能级是集体转动态, 它们退激时发射的都是瞬发  $\gamma$  线, 因此 401keV 与 581keV 的符合时间谱就是瞬时符合时间谱, 它是半个峰 (图 2(a)), 是标准瞬时符合时间谱  $P(t_d)$  的一半, 将其反演成一个对称的峰就可得到  $P(t_d)$ .

用  $f(t)$  和  $P(t_d)$  对延迟时间谱进行拟合, 得到两个寿命  $T_{1/2} = (59 \pm 20)$  ns,  $T_{1/2} = (16.5 \pm 8.0)$  ns, 拟合曲线也在图 2 中给出. 但由于式 (3) 中  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  是交换对称的, 从延迟符合时间谱无法对这两个寿命进行能级指定.

根据  $^{117,119}\text{Xe}$  低激发态能级结构的相似性<sup>[7]</sup>, 假设  $^{117}\text{Xe}$  的  $11/2^- \rightarrow 7/2^-$  的  $E2$  约化跃迁几率与  $^{119}\text{Xe}$  的  $B(E2)$  相近, 考虑到 24keV  $E2$  跃迁内转换电子系数  $\alpha_{\text{tot}} \sim 520$ , 可以估计出其  $11/2^-$  态的半寿命为  $\sim 75$  ns, 因此把较长寿命  $T_{1/2} = 59$  ns 指定给  $11/2^-$

是合理的, 则  $7/2^-$  的半寿命为 16.5 ns. 在 Tormanen 等人的实验中<sup>[8]</sup>, 薄靶与产物阻止片间距 4cm (反冲余核可飞行  $\sim 6$  ns), 在 107keV ( $9/2^- \rightarrow 7/2^-$ ) 跃迁的拉门谱中只看到 205keV 的飞行成份. 根据文献 [8] 的拉门谱图 2(a) 中 205keV  $\gamma$  线的停止成份的峰计数与飞行成份的峰计数, 及有关  $\gamma$  线的相对强度, 利用上面的寿命指定, 可以估计出在 107keV 拉门谱中 205keV  $\gamma$  线的停止成份的峰计数比其飞行成份的峰计数至少小一个数量级, 很容易被

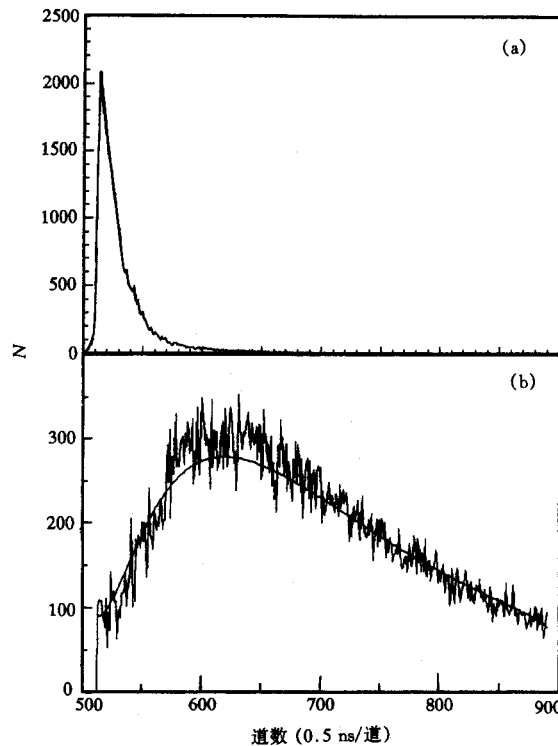


图 2  $^{117}\text{Xe}$  核的  $\gamma$ - $\gamma$  符合时间谱

(a) 由 401keV 与 581keV 符合事件得到的瞬时符合时间谱; (b)  $^{117}\text{Xe}$  中 401keV 与 205keV 跃迁的符合时间谱, 光滑实线为拟合曲线.

本底淹没。这与他们观察到的实验现象是一致的。

为了检验本文所用方法的可靠性,求出了同一反应中 3p 出射道产物  $^{117}\text{I}$  中寿命已知的同质异能态  $9/2^+$  的半寿命为  $T_{1/2} = (13.2 \pm 3.2)\text{ns}$ , 与文献 [9] 用脉冲束方法测得的  $T_{1/2} = (12.1 \pm 1.0)\text{ns}$  非常接近。

·表1 奇 $A^{117-123}\text{Xe}$ 中 $11/2^- \rightarrow 7/2^-$ 、 $7/2^- \rightarrow 5/2^+$ 跃迁的约化跃迁 $B(E2)$ 、 $B(E1)$

	$^{117}\text{Xe}$	$^{119}\text{Xe}^{[1]}$	$^{121}\text{Xe}^{[1]}$	$^{123}\text{Xe}^{[2]}$
$B(E2, 11/2^- \rightarrow 7/2^-)$				
( $e^2 \cdot b^2$ )	0.25	0.18	0.39 <sup>(a)</sup>	0.08
(W. u.)	73	52	110	23
$B(E1, 7/2^- \rightarrow 5/2^+)$				
( $e^2 \cdot \text{fm}^2$ )	$3.1 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-6}$	$1.1 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-5}$
(W. u.)	$2.0 \times 10^{-6}$	$2.6 \times 10^{-6}$	$7.0 \times 10^{-6}$	$1.4 \times 10^{-5}$

(a)  $11/2^- \rightarrow 7/2^-$  跃迁的分支比取为理论值  $0.45^{[1]}$ 。

利用上面测得的寿命可以提取出有关跃迁的约化跃迁几率,在表1中给出了 $^{117}\text{Xe}$ 及 $^{119-123}\text{Xe}$ 的 $11/2^-$ 、 $7/2^-$ 同质异能态退激跃迁的约化几率 $B(E2, 11/2^- \rightarrow 7/2^-)$ 、 $B(E1, 7/2^- \rightarrow 5/2^+)$ 。

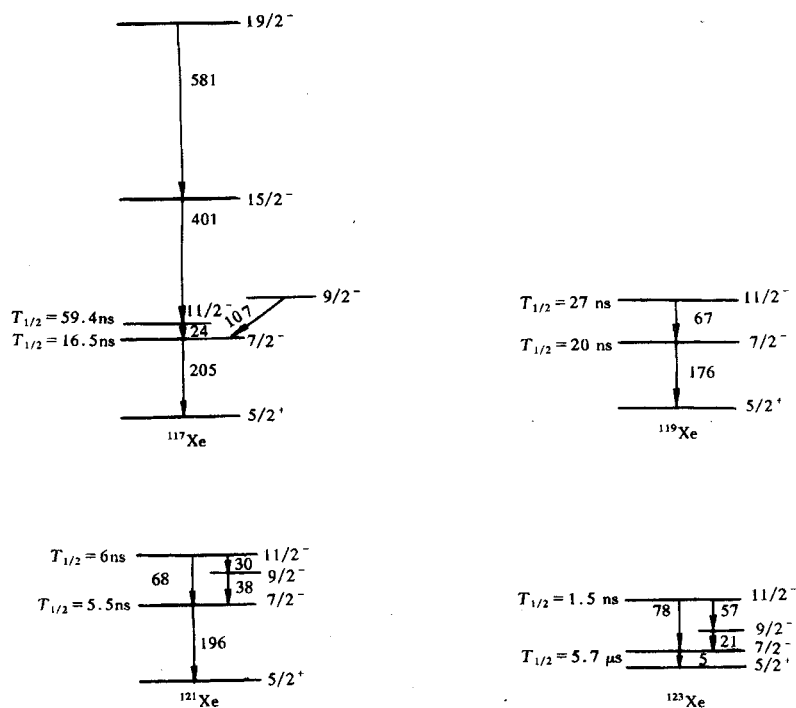


图3 奇 $A^{117-123}\text{Xe}$ 中负宇称低激发态比较

奇  $A$  Xe 核的  $h_{11/2}$  带能级结构与形变、费米面的位置有关. 随中子数  $N$  减少 Xe 同位素的中子费米面在  $h_{11/2}$  子壳中由顶部 ( $N > 75$ ) 下降到中部, 奇  $A$  Xe 核的负宇称  $h_{11/2}$  轨道的  $9/2^-$ 、 $7/2^-$  逐渐降低并在在束  $\gamma$  实验中被观察到, 能级顺序也在发生变化. 在  $^{121,123}\text{Xe}$  中能级顺序由低到高为  $7/2^-$ 、 $9/2^-$ 、 $11/2^-$ , 而  $^{117,119}\text{Xe}$  中为  $7/2^-$ 、 $11/2^-$ 、 $9/2^-$ . 图 3 给出了  $^{117-123}\text{Xe}$  的负宇称低激发态, 可以看出, 虽然  $^{117-121}\text{Xe}$  的  $11/2^-$  态都具有较长寿命, 但其  $B(E2)$  都较大, 与集体运动的  $B(E2)$  具有相同数量级.  $^{117-123}\text{Xe}$  中  $7/2^- \rightarrow 5/2^+$  的  $B(E1)$  具有  $10^{-6}$ — $10^{-5}$  Weisskopf 单位 (W.u.) 量级, 属正常  $E1$  跃迁. 因此, 这些核的  $11/2^-$ 、 $7/2^-$  同质异能态是由于能级间隔较小造成的, 而不是由于其他特殊的结构原因形成的.  $^{117}\text{Xe}$  和  $^{119}\text{Xe}$  的相应约化跃迁几率很相近, 也证明了这两个核能级结构的相似性.

### 参 考 文 献

- [1] V. Barci *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A383**(1982)309.
- [2] S. Ohya, T. Tamura, *Nucl. Data Sheets*, **60**(1993)600.
- [3] 刘 忠等, 高能物理与核物理, **19**(1995)102.
- [4] 刘 忠, 博士论文, 中国科学院近代物理研究所, (1995).
- [5] 孙相富等, 核电子学与探测技术, **12**(1992)83.
- [6] 王韶舜, 核与粒子物理实验方法, 原子能出版社, (1989)268.
- [7] G. Marguier *et al.*, *J. Phys.*, **G12**(1986)757.
- [8] S. Tormanen *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A572**(1994)417.
- [9] M. Gai *et al.*, *Phys. Rev.*, **C26**(1982)1101.

## Lifetime Measurement of the Negative-Parity Isomers in $^{117}\text{Xe}$

Liu Zhong   Sun Xiangfu   Guo Yingxiang   Lei Xiangguo   Chen Xinfeng  
Zhou Xiaohong   Zhang Yuhu   Jin Hanjuan   Luo Yixiao

(*Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

Wen Shuxian   Yuan Guanjun   Li Guangsheng   Yang Chunxiang   Liu Xiang'an

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

Received 10 September 1996

### Abstract

Delayed coincidence method was used to measure the lifetimes of the isomeric states in  $^{117}\text{Xe}$ . Two halfives of  $T_{1/2} = (59 \pm 20)$  ns and  $T_{1/2} = (16.5 \pm 8.0)$  ns have been extracted from the coincidence time spectrum between the 401keV ( $15/2^- \rightarrow 11/2^-$ ) and the 205keV ( $7/2^- \rightarrow 5/2^+$ ) transitions, and are assigned to the  $11/2^-$  and  $7/2^-$  states respectively.

**Key words** lifetime of the isomeric states, delayed coincidence  $\gamma$ - $\gamma$ - $t$ , reduced transition probability.