

延迟质子先驱核 ^{33}Ar 、 ^{49}Fe 的实验研究

徐晓冀 郭俊盛 郭应祥 赵之正 罗亦孝

(中国科学院近代物理研究所)

摘 要

用 65 MeV 的 ^{12}C 束轰击 ^{24}Mg 、 ^{40}Ca 靶, 通过 $(^{12}\text{C}, 3n)$ 反应, 产生了延迟质子先驱核 ^{33}Ar 及 ^{49}Fe , 观测了它们的 β^+ 延迟质子谱, 其主峰能量分别在 3.28 ± 0.07 MeV 与 1.98 ± 0.04 MeV, 截面分别为 $0.4 \pm 0.08 \mu\text{b}$ 与 $0.7 \pm 0.14 \mu\text{b}$, 测得 ^{33}Ar 的半衰期为 $167 \pm 24 \text{ms}$.

一、引 言

近来, β 延迟粒子发射作为一类重要的核衰变现象已愈益为人们所注意. 对它的研究, 能用来寻找和鉴定远离 β 稳定谷新核素; 发现新的核衰变方式; 对于较重的核, 通过研究, 能得到能级宽度、能级密度平均性质和其它核结构信息以及 β 衰变到高激发态区的强度; 在轻核中, 对延迟粒子谱的分析将是研究复杂的 β 衰变细节的最强有力的方法. 因此, β 延迟粒子核谱学已为核结构研究开辟了新的途径.

为开展 β 延迟粒子谱学的研究, 我们建立了一套快速脉冲束实验装置, 它尤其适合于研究寿命为毫秒至秒级的带电粒子衰变. 我们选取反应 $^{24}\text{Mg}(^{12}\text{C}, 3n)^{33}\text{Ar}$ 和 $^{40}\text{Ca}(^{12}\text{C}, 3n)^{49}\text{Fe}$, 成功地得到了延迟质子先驱核 ^{33}Ar 及 ^{49}Fe , 测量了延迟质子能谱、截面及半衰期, 结果与国外发表的工作在误差范围内较好地一致. 这为我们今后开展延迟粒子谱学研究创造了条件.

二、实 验

用 1.5 米迴旋加速器的 $^{12}\text{C}(4^+)$ 离子 (65 MeV 的脉冲束) 轰击 ^{24}Mg 、 ^{40}Ca 靶, 入射到靶上的平均流强为 $0.3 \mu\text{A}$; 天然 ^{24}Mg 、 ^{40}Ca 靶厚分别为 $2.62 \text{mg}/\text{cm}^2$ 与 $2.30 \text{mg}/\text{cm}^2$, 采用了由两个面垒探测器组成的半导体望远镜——一个为 $23 \mu\text{m}$ 的 ΔE 探测器, 其后是耗尽层为 $230 \mu\text{m}$ 的 E 探测器, 它对靶所张的立体角约为 0.05 立体弧度. 测量前后谱仪系统用射钍源 ($\text{Thc}'-c$) 作了能量刻度.

由于 β 延迟质子发射的截面低 (一般在微巴至毫巴数量级)、寿命短 (毫秒至秒数量级), 最好尽可能采用脉冲束在线测量, 这就必须将加速器束流进行脉冲调制, 并在轰击周

期内屏蔽探测器。为此,设计了一个束流脉冲化靶室装置(图 1),它由一个带狭缝的(一个宽缝、一个窄缝)转动盘、光源、光电三极管及 ΔE - E 半导体探测器望远镜组成。工作时,转动盘以不变的速度在探测器和靶之间旋转,靶与束流成 45° 角放置,以预期的质子活性寿命选择步进马达转速,使得轰击与测量时间大约都维持在二至三个半衰期。

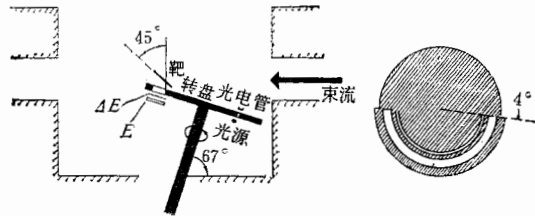


图 1 靶室装置示意图

当转盘的窄缝运动到光源前面时,光照到光电三极管上,产生一个周期为 T_1 的正矩形脉冲(图 2),将此信号前沿延迟 T_2 触发另一个周期为 T_3 、幅度为 -100 伏的方波,用它去调制加速器的 D 盒电压,以控制束流开的时间间隔。在此期间探测器被转盘保护,并且闭锁多道谱仪。为避免照射刚停止的瞬间剩余辐射的影响,设计窄缝扫过光源后,再经过转盘旋转 4° 的时间 (T_4) 宽缝才面对探测器。与此同时,光电脉冲的截止时间被延迟 T_5 ,后去触发一个周期为 T_6 的正 6 伏方波,以它去启动闭锁的多道谱仪,因此 T_6 即测量时间。为了更可靠地排除环境辐射的干扰,必须 $T_5 \geq T_4$, $T_6 < T_7$ (T_7 为无束流周期)。

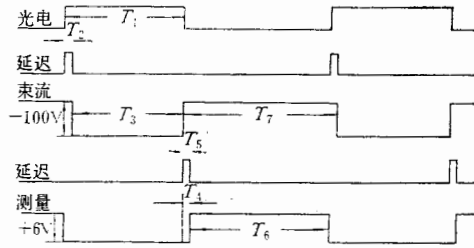
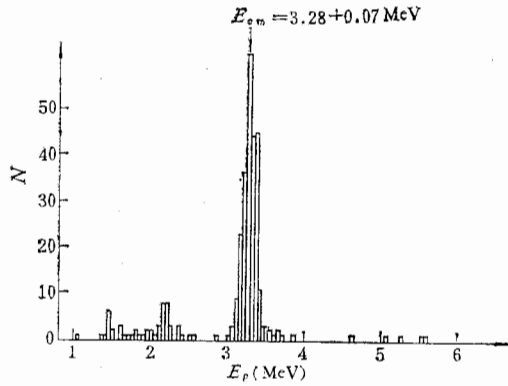
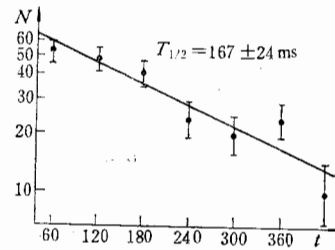
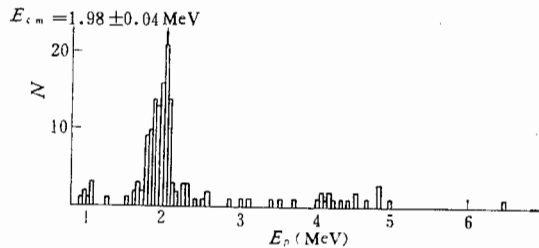


图 2 脉冲调制工作状态图

三、结果与讨论

对于 ^{24}Mg 靶,轰击的积分束流约为 20770 微库仑,脉冲束的持续时间为 457 毫秒,测量时间为 479 毫秒,质子信息被存贮在双维能谱分析器中 ($\Delta E \times E \sim MZ^2$),与此同时,采用了时间多定标程序,以获得半衰期数据。实验数据通过平均活性到饱和活性的生长衰变处理,双维转单谱处理,以及对靶自吸收和质心系核衰变反冲能的修正,得到 ^{33}Ar 的质子谱如图 3 所示,质子主峰能量在 3.28 ± 0.07 MeV,它相应于由 ^{33}Cl 中最低的 $T = \frac{3}{2}$ 同位旋相似态——它由 ^{33}Ar 的超允许 β^+ 跃迁产生——到 ^{33}S 基态 ($T = 0$) 的质子衰变。测得延迟质子先驱核 ^{33}Ar 的半衰期为 167 ± 24 ms (图 4),截面为 $0.4 \pm 0.08 \mu\text{b}$,这与哈迪 (J. C. Hardy)^[1] 和塞尔尼 (Joseph Cerny)^[2] 的结果 ($E_{c.m.} = 3.26$ MeV, $\sigma \cong 0.5 \mu\text{b}$, $T_{1/2} = 175$ ms) 基本一致。

对于 ^{40}Ca 靶,轰击的积分束流约为 9810 微库仑,脉冲束流持续时间为 229 ms,测量周

图3 ^{33}Ar 延迟质子谱图4 ^{33}Ar 延迟质子衰变曲线图5 ^{49}Fe 延迟质子谱

期为 239ms, 所得 ^{49}Fe 延迟质子谱示于图 5 中, 主峰能量为 $1.98 \pm 0.04 \text{ MeV}$, 它也许是相应于 ^{49}Mn 中最低的同位旋相似态 ($T = \frac{3}{2}$) 到 ^{48}Cr 的第一激发态的质子跃迁^[2]。根据测得的质子计数, 并参考塞尔尼给出的 ^{49}Fe 半衰期数据^[2], 我们获得 ^{49}Fe 的截面为 $0.7 \pm 0.14 \mu\text{b}$ 。以上这些数据与塞尔尼的结果^{[2][3]}也比较相符。

为进一步开展工作, 寻找更加远离 β 稳定谷的新的延迟粒子核, 需要将靶室系统加以改进, 如增大测量立体角以提高探测效率, 转盘改用重金属材料 (如钨) 以增强屏蔽效果, 以及减少中子辐射本底, 增加长时间工作的可靠性等。如果采用质子- ν 或质子- x 射线等符合测量, 将会得到更多的核信息。

参 考 文 献

- [1] J. C. Hardy et al., *Physical Review*, C3(1971), 700.
- [2] Joseph cerny, *Physical Review Letters*, 24(1970), 1128.
- [3] Jseph Gerny, 3rd International conference on Nuclei far from Stability Proceedings, (1976), P. 225.

EXPERIMENTAL STUDY OF BETA-DELAYED PROTON PRECURSORS ^{33}Ar AND ^{49}Fe

XU XIAO-JI GUO JUN-SHENG GUO YING-XIANG

ZHAO ZHI-ZHENG LUO YI-XIAO

(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Beta-delayed proton precursors ^{33}Ar and ^{49}Fe have been produced by the reaction (^{12}C , $3n$) using 65MeV carbon ion bombardments of ^{24}Mg and ^{40}Ca respectively. Their beta-delayed proton spectra have been observed. The major proton peaks are at 3.28 ± 0.07 MeV and 1.98 ± 0.04 MeV for ^{33}Ar and ^{49}Fe respectively. While the corresponding cross-sections obtained for ^{33}Ar and ^{49}Fe are $0.4 \pm 0.08 \mu\text{b}$ and $0.7 \pm 0.14 \mu\text{b}$ respectively. The half-life of ^{33}Ar was determined to be 167 ± 24 ms.