

## 快报

# 对 $^{69}\text{Kr}$ $\beta$ 延迟质子衰变的观察

徐晓冀 黄文学 马瑞昌 古中道 杨永峰 王彦瑜 董成富

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1996-08-27 收稿

### 摘 要

通过对 $^{32}\text{S}+\text{Ca}$ 反应中衰变质子谱的观测,发现了一组新的质子谱线,其能量为 $(4.07\pm 0.05)\text{MeV}$ ,对应的半衰期为 $(32\pm 10)\text{ms}$ ,经反应道分析及与理论预言比较,确定该质子活性来源于 $^{40}\text{Ca}(^{32}\text{S}, 3n)$ 反应产生的 $^{69}\text{Kr}$ 的 $\beta$ 延迟质子衰变,它相应于由 $^{69}\text{Br}$ 中的 $T=3/2$ 同位旋相似态到 $^{68}\text{Se}$ 基态的质子跃迁.基于测量结果与库仑位移能计算,得到 $^{69}\text{Kr}$ 的质量剩余为 $(-32.15\pm 0.30)\text{MeV}$ ,并提出了 $^{69}\text{Kr}$ 的部分衰变纲图.

**关键词** 奇异核,  $\beta$ 延迟粒子发射, 质量剩余.

质子滴线附近的 $T_z=-3/2$ 、 $A=4n+1$ 核,从 $^9\text{C}$ 到 $^{68}\text{Se}$ 都是很强的 $\beta$ 延迟质子发射先驱核<sup>[1]</sup>.从 $^{57}\text{Zn}$ 以后,此系列核已处于质子滴线的边缘,因此,对此系列核的系统性研究,可得到原子核在向质子不稳定区过渡时,在核衰变和核结构性质上逐渐变化的宝贵信息.此系列核的进一步延伸,就到了有较高质量的奇异核 $^{69}\text{Kr}$ .理论预言 $^{69}\text{Kr}$ 也应是一个很强的 $\beta$ 延迟质子发射先驱核.最近, B. Blank 等人用炮弹碎裂反应鉴定了 $^{69}\text{Kr}$ <sup>[2]</sup>,但是, $^{69}\text{Kr}$ 的衰变性质却一直没有在实验上被研究过.近来,我们对 $^{69}\text{Kr}$ 的衰变开展了实验研究.实验在中国科学院近代物理研究所进行,由 HIRFL 提供的 $170\text{MeV}^{32}\text{S}^{9+}$ 束流轰击天然钙靶,通过 $^{40}\text{Ca}(^{32}\text{S}, 3n)$ 反应产生 $^{69}\text{Kr}$ .因为 Kr 是惰性气体元素,不能用氦喷嘴方法对其有效地传输与收集,而且,炮弹碎裂反应产额极低,目前还难以用它对 $^{69}\text{Kr}$ 开展衰变研究.为此,我们发展了一种叫作束流脉冲调制的新方法,即:通过对束流的调制,使其脉冲间歇地照在靶上,在照射期间闭锁探测系统,而在不照射时对停留在靶上的放射性进行探测.用此方法可对半衰期短至毫秒量级的核进行有效地探测.实验中使用了由3个金硅面垒半导体探测器组成的粒子望远镜,对产物核的带电粒子衰变进行了粒子鉴别及能谱测量.用 $^{32}\text{S}$ 轰击 $^{24}\text{Mg}$ 和 $^{40}\text{Ca}$ 所产生的 $^{53\text{m}}\text{Co}$ 、 $^{53}\text{Ni}$ 、 $^{41}\text{Ti}$ 及 $^{29}\text{S}$ 的衰变质子已知能量对探测系统进行能量刻度,并使用了 CTDC 技术,在能谱测量中同时获取事件的时间序列谱,以测定核的半衰期.

在平均流强为 $0.1\mu\text{A}$ 情况下,以 $13\text{mC}$ 的积分束流获取了双维带电粒子谱,从谱中的“质子带”开窗所得的质子谱如图1(a)所示,谱中 $5.44\text{MeV}$ 、 $4.73\text{MeV}$ 和 $4.64\text{MeV}$ 及 $3.10\text{MeV}$ 峰是熟知的来自 $^{29}\text{S}$ 、 $^{41}\text{Ti}$ 及 $^{37}\text{Ca}$ 的 $\beta$ 延迟质子衰变<sup>[3]</sup>,确信它们是由转移反

应产生. 谱中还显示了叠加在连续本底之上的分立谱线结构, 它一直延续到 3.5MeV 附近, 这主要是<sup>69</sup>Se 的 β 延迟质子衰变的贡献, 它产生于有很大截面的 2pn 熔合蒸发反应道; 此外, 在 3.50—3.80MeV 范围, 还有<sup>41</sup>Ti、<sup>29</sup>S 及<sup>65</sup>Se. 以上所有的质子放射性都和预期的已知反应道一致.

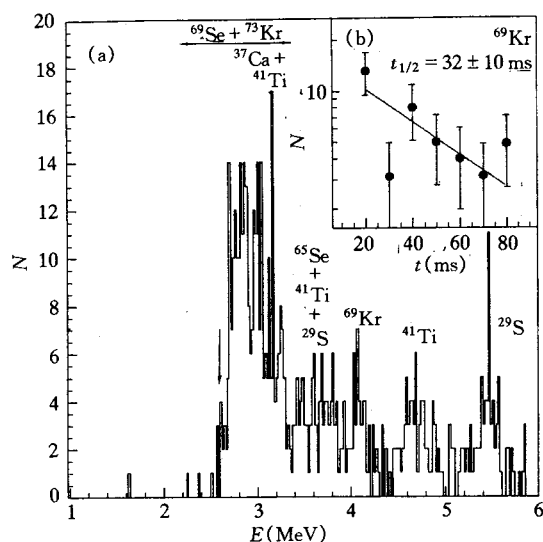


图 1(a) 由双维谱“质子带”开窗所得的质子谱  
↓ 为低能截断点.

(b) 对应于质子谱中 4.07MeV 峰的衰变时间序列谱

引人注意的是, 在谱中(4.07±0.05) MeV 处出现一新的质子峰, 它和已知的质子谱线不一致. 与此峰对应的衰变时间序列谱如图 1(b) 所示, 基于如下理由, 我们指定这一新的质子活性是来自<sup>69</sup>Kr 的 β 延迟质子衰变: (1) (4.07±0.05) MeV 质子能量与 (3.85±0.53) MeV 的预言值在 0.22MeV 误差范围内相符, 这与此系列核的系统性误差一致; (2) 以最小二乘法拟合图 1(b) 所示的时间序列谱, 得到<sup>69</sup>Kr 的半衰期为(32±10)ms, 此结果与 Takayoshi 等人的预言值<sup>[4]</sup>(27.7ms) 基本相符, 而与可能产生的已知核半衰期都不一致; (3) 指定也可靠地基于如前所述的反应道分析.

假定<sup>69</sup>Kr 的超允许 β 跃迁的 log ft 为 3.3, 得到<sup>69</sup>Kr 同位旋相似态的 β 跃迁分支比为 83%. 为此, 我们提出了<sup>69</sup>Kr 的部分衰变纲图(如图 2). 这是首次从实验上观察到的<sup>69</sup>Kr 的 β 延迟质子衰变. 结合<sup>69</sup>Kr 的质子能量与库仑位移能计算, 得到<sup>69</sup>Kr 的质量剩余为(-32.15±0.30) MeV. 另外, 由脉冲调制的绝对效率(7.5×10<sup>-3</sup>)、质子分支比, 还可得<sup>40</sup>Ca(<sup>32</sup>S, 3n)<sup>69</sup>Kr 反应的平均宏观实验截面为 15nb, 它与 ALICE 计算的截面(300nb)之比为 20, 这与此系列核中已发现的其它成员的比值基本一致, 例如:<sup>61</sup>Ge 为 11, <sup>65</sup>Se 为 18, 而<sup>73</sup>Sr 为 10.

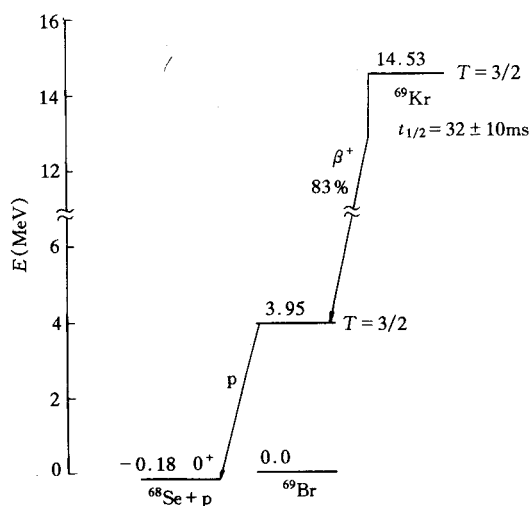


图 2 <sup>69</sup>Kr 的部分衰变纲图

## 参 考 文 献

- [1] J. C. Batchelder, D. M. Moltz, T. J. Ognibene *et al.*, *Phys. Rev.*, **C47**(1993) 2038.  
[2] B. Blank, S. Andriamonje, S. Czajkowski *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **74**(1995) 4611.  
[3] R. G. Sextro, R. A. Gough, J. Cerny, *Nucl. Phys.*, **A234**(1974) 130.  
[4] Takayoshi Horiguchi, Takahiro Tachibana, Tsutomu Tamura, Chart of The Nuclides 1992.

Observation of Beta-Delayed Proton Decay of  $^{69}\text{Kr}$ 

Xu Xiaoji    Huang Wenxue    Ma Ruichang

Gu Zhongdao    Yang Yongfeng    Wang Yanyu    Dong Chengfu

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

Received 27 August 1996

## Abstract

A new group of protons at a laboratory energy of  $(4.07 \pm 0.05)$  MeV with half-life of  $(32 \pm 10)$ ms was discovered via observing the decay proton spectrum resulting from  $^{32}\text{S} + \text{Ca}$  reaction. By reaction channel analyses and comparing with theoretical prediction, this new proton radioactivity was assigned to arising from the beta-delayed proton decay of  $^{69}\text{Kr}$  produced in the  $^{40}\text{Ca} (^{32}\text{S}, 3n)$  reaction, corresponding to decay of the  $T=3/2$  isobaric analog state in  $^{69}\text{Br}$  to the ground state of  $^{69}\text{Se}$ . Combining this measurement with Coulomb displacement energy calculation yields a mass excess for  $^{69}\text{Kr}$  of  $(-32.15 \pm 0.30)$  MeV. The partial decay scheme of  $^{69}\text{Kr}$  was proposed.

**Key words** exotic nuclide, beta-delayed particle decay, mass excess.