

# 首次建立缺中子核素 $^{209}\text{Fr}$ 的分支 比很弱的 $(\text{EC} + \beta^+)$ 衰变纲图\*

谢元祥 徐树威 郭应祥 马瑞昌 葛元秀 李占奎  
王春芳 郭斌 邢建萍 张天梅 朱少飞 徐望

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1996-04-08 收稿

## 摘 要

用 $^{16}\text{O}$ 束轰击 $^{197}\text{Au}$ 靶,通过熔合蒸发 $4n$ 反应产生了 $^{209}\text{Fr}$ ,借助于氦喷嘴带传输系统对其衰变性质进行了研究.由 $\gamma-t$ ,  $X-\gamma-t$ ,  $\gamma-\gamma-t$ 符合及 $\gamma-\gamma$ 延迟符合测量得到的结果,首次建立了 $^{209}\text{Fr}$ 的 $(\text{EC} + \beta^+)$ 衰变纲图.它包含了20条 $\gamma$ 射线. $^{209}\text{Rn}$ 的5个低位态的成员可以用 $[(^{210}\text{Rn}2^+)(\nu f_5, \nu_2)^{-1}]$ 多重态结构来解释.实验估计 $^{209}\text{Fr}$   $(\text{EC} + \beta^+)$ 衰变的分支比为 $(3.0 \pm 1.5)\%$ .

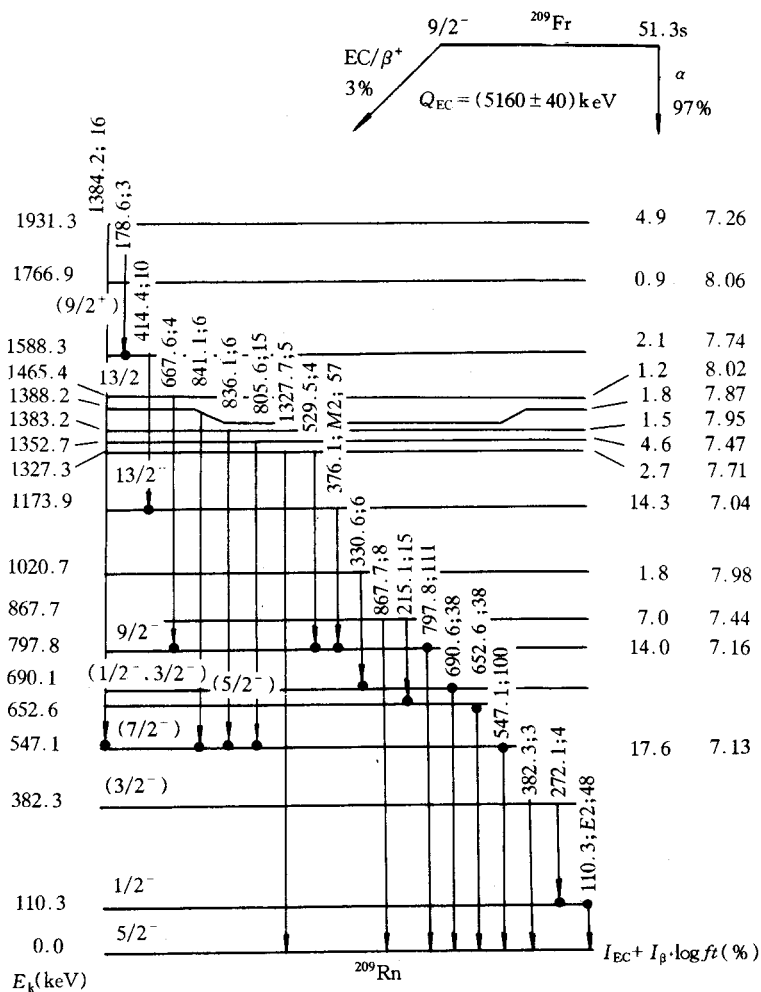
**关键词** 衰变纲图, 氦喷嘴带传输系统, 分支比, 多重态结构.

早在20年前,就已对 $^{209}\text{Fr}$ 的 $\alpha$ 衰变进行了研究<sup>[1]</sup>,得到它的半衰期为 $(50.0 \pm 0.3)\text{s}$ ,  $\alpha$ 分支比为89%.到目前为止, $^{209}\text{Fr}$ 的 $(\text{EC} + \beta^+)$ 衰变纲图还未报道过.一个主要的原因是 $^{209}\text{Fr}$ 寿命短且 $(\text{EC} + \beta^+)$ 衰变的分支比太小.我们利用了氦喷嘴带传输系统对惰性气体氦传输效率极低的特性,使得所产生的主要干扰核氦的影响大大降低,明显改善了符合测量的效果;此外还设法降低了康普顿散射本底,保证了弱 $\gamma$ 射线能测量出强度.最终获得了 $^{209}\text{Fr}$ 的衰变纲图.

实验是在中国科学院近代物理研究所SFC加速器上进行的.102MeV  $^{16}\text{O}$ 束穿过 $1.9\text{mg}/\text{cm}^2$ 厚的Havar窗进入到充氦气的反应室,轰击 $1.7\text{mg}/\text{cm}^2$ 厚的 $^{197}\text{Au}$ 靶.反应产物由氦喷嘴带传输系统送到低本底区.两个同轴高纯锗(GMX)探测器用作 $\gamma$ 测量,其中一个探测器附加上了有康普顿抑制功能的探头做 $\gamma$ 单谱测量.一个平面型高纯锗探测器用于X射线测量.由 $\gamma-t$ ,  $X-\gamma-t$ ,  $\gamma-\gamma-t$ ,以及 $\gamma-\gamma$ 延迟符合诸种测量,得到了 $^{209}\text{Fr}$ 的半衰期为 $(51.3 \pm 0.8)\text{s}$ ,与文献[1]的值相符;指出20条 $\gamma$ 射线是属于 $^{209}\text{Fr}$ 衰变产生的.根据所测 $\gamma$ 射线的强度、符合关系及能量和的关系,我们建立了 $^{209}\text{Fr}$ 衰变纲图(图1).

图1中 $^{209}\text{Fr}$ 和 $^{209}\text{Rn}$ 的基态自旋和宇称分别为 $9/2^-$ 和 $5/2^{-[2]}$ ,  $Q_{\text{EC}}$ 值取自文献[3].

\* 中国科学院和国家自然科学基金资助.

图1  $^{209}\text{Fr}$ 的衰变纲图

图中 110.3、797.8、1173.9、1465.4keV 能级的自旋和宇称在文献 [4,5] 中已给出; 110.3、376.1keV  $\gamma$  射线的多极性也来自于以上两篇文献。图左边数字为能级的能量。图右面是近似估计出的这些能级对应的边馈值及  $\log ft$  的值。其中有 4 条能级没有给出对应的数值, 这是因为  $\beta$  跃迁的类型属于禁戒跃迁, 跃迁几率应该很小的缘故。

与  $^{207}\text{Po}$  和  $^{205}\text{Pb}$  低位态比较, 382.3、547.1、652.6、690.1、797.8keV 等 5 条能级可以解释为  $[(^{210}\text{Rn } 2^+) (v f_{5/2})^{-1}]$  多重态结构的成员, 它们类似于  $^{207}\text{Po}$  中的  $[(^{206}\text{Po } 2^+) (v f_{5/2})^{-1}]$  和  $^{205}\text{Pb}$  中的  $[(^{206}\text{Pb } 2^+) (v f_{5/2})^{-1}]$  结构形式<sup>[6,7]</sup>。因而建议这些能级中前 4 个的自旋和宇称分别为  $(3/2^-)$ ,  $(7/2^-)$ ,  $(5/2^-)$  和  $(1/2^-, 3/2^-)$ 。

在  $^{16}\text{O} + ^{197}\text{Au}$  反应中, 复合核蒸发中子同时产生了余核  $^{208}\text{Fr}$  和  $^{209}\text{Fr}$ , 在我们的实验能量下, 其截面的实验值分别为 45、88mb<sup>[8]</sup>。根据我们实验测出  $^{208}\text{Fr}$  的 635.8keV 最强  $\gamma$  射线与  $^{209}\text{Fr}$  的 547.1keV 强  $\gamma$  射线的相对强度比为 88 (2) / 18 (2) 及已知的  $^{208}\text{Fr}$  的  $(EC + \beta^+)$  衰变的分支比<sup>[9]</sup>, 就可以估计出  $^{209}\text{Fr}$  的  $(EC + \beta^+)$  衰变的分支比为  $(3.0 \pm 1.5)\%$ ,

低于文献 [1] 给出的 11% 的值.

作者感谢 SFC 加速器分部及 IMP 数据获取组的所有工作人员的良好合作.

### 参 考 文 献

- [1] P. Hornshoj *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A 230** (1974) 380.
- [2] M. J. Martin, *Nucl. Data Sheets*, **63** (1991) 723.
- [3] G. Audi A. H. Wapstra, *Nucl. Phys.*, **A 565** (1993) 1.
- [4] D. G. Raich *et al.*, *Z. Phys.*, **A 279** (1976) 301.
- [5] A. R. Poletti *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A 440** (1985) 118.
- [6] V. G. Chumin *et al.*, *Izv. Akad. Nauk SSSR Ser. Fiz.*, **45** (1981) 2102.
- [7] M. R. Schmorak, *Nucl. Data Sheets*, **45** (1985) 145.
- [8] S. Baba *et al.*, *Z. Phys.*, **A 331** (1988) 33.
- [9] M. J. Martin, *Nucl. Data Sheets*, **47** (1986) 950.

## First Study of Weak ( $\text{EC}+\beta^+$ ) Decay Branch for the Neutron – Deficient Isotope $^{209}\text{Fr}$

Xie Yuanxiang Xu Shuwei Guo Yingxiang Ma Ruichang  
Ge Yuanxiu Li Zhankui Wang Chunfang Guo Bin  
Xing Jianping Zhang Tianmei Zhu Shaofei Xu Wang

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

Received 8 April 1996

### Abstract

$^{209}\text{Fr}$  has been produced by irradiation of  $^{197}\text{Au}$  with  $^{16}\text{O}$  from SFC accelerator via the fusion–evaporation  $4n$  channel. The ( $\text{EC}+\beta^+$ ) decay of  $^{209}\text{Fr}$  has been studied by a He–jet tape transport system. The decay scheme is proposed for the first time based on  $\gamma-t$ ,  $X-\gamma-t$ ,  $\gamma-\gamma-t$  coincidence and  $\gamma-\gamma$  delay coincidence measurements, which takes account of 20 observed  $\gamma$  ray. Five members of low–lying states in  $^{209}\text{Rn}$  can be explained by the multiplet [ $(^{210}\text{Rn } 2^+) (v f_{5/2})^{-1}$ ]. The branching ratio for ( $\text{EC}+\beta^+$ ) decay of  $^{209}\text{Fr}$  has been estimated experimentally to be  $(3.0 \pm 1.5)\%$ .

**Key words** decay scheme, He–jet tape transport system, branching ratio, multiplet.