

# ${}^7\text{Be}$ 在 Au 中衰变率的精确测量

孟秋英, 李成波, 傅元勇, 刘志毅, 文群刚, 周 静, 周书华

(中国原子能科学研究院 核物理研究所, 北京 102413)

摘要: 对在通常实验室环境下注入到 Au 中的  ${}^7\text{Be}$  发生电子俘获的半衰期进行测量。共测量 4.8 个半衰期, 测得  $T_{1/2} = (53.245 \pm 0.003) \text{ d}$ 。此测量结果可作为研究  ${}^7\text{Be}$  衰变率随环境不同而发生变化时的参照值。

关键词: 半衰期;  ${}^7\text{Be}$ ;  $\gamma$  谱

中图分类号: O571.322

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2007)04-0408-02

## High Precision Measurement of Decay Rate of ${}^7\text{Be}$ in Au

MENG Qiu-ying, LI Cheng-bo, FU Yuan-yong, LIU Zhi-yi,

WEN Qun-gang, ZHOU Jing, ZHOU Shu-hua

(Department of Nuclear Physics, China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

**Abstract:** The half-life of the  ${}^7\text{Be}$  in gold sample at the normal laboratory environment is measured for 4.8 half-lives. The measured value  $T_{1/2} = (53.245 \pm 0.003) \text{ d}$  can be used as a reference in study of the variation of the decay rate of  ${}^7\text{Be}$  in different environment.

**Key words:** half-live;  ${}^7\text{Be}$ ;  $\gamma$ -ray spectrum

放射性核素的半衰期,特别是发生电子俘获和内转换过程的半衰期与核外电子密度有关,因此,核外物理、化学环境改变,有可能改变核素的半衰期<sup>[1-3]</sup>。精确测量这些核素的半衰期以及研究它们在不同核外环境中半衰期的变化在许多领域有着重要应用。 ${}^7\text{Be}$  是发生电子俘获最轻的放射性核素,具有简单的电子壳层结构,半衰期约为 53 d,是研究核外环境对核素半衰期影响的最合适的核素。从环境物质电子亲合势对电子俘获过程的影响这一角度看,Au 的化学性质稳定,电子亲合势的测量数据比较一致,注入到 Au 中的  ${}^7\text{Be}$  的衰变率适于作为参照。因此,常温和常压下的  ${}^7\text{Be}$  在 Au 中衰变率的精确值是非常重要的物理量。

${}^7\text{Be}$  衰变发生电子俘获反应,约 10% 布居到  ${}^7\text{Li}$  的第 1 激发态,其余布居至  ${}^7\text{Li}$  的基态。 ${}^7\text{Li}$  第 1 激发态通过放出 478 keV  $\gamma$  射线退激发至  ${}^7\text{Li}$  的基态。本实验通过测量 478 keV  $\gamma$  射线计数率随时间的变化来测量  ${}^7\text{Be}$  的衰变率。

### 1 实验测量

Au 样品中  ${}^7\text{Be}$  源的制备在中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器的放射性次级束流线上进行。用 34 MeV  ${}^7\text{Li}$  初级束轰击氢气靶,产生 21.6 和 32.3 MeV 的  ${}^7\text{Be}$  次级束,注入到 Au 靶中。实验用 Au 靶在制备过程中其晶格结构会受到破坏,为修复晶格损伤,将样品置于

真空度为 0.003 Pa 的真空中,加热至退火温度,保持 1 h,然后在真空中自然冷却至室温后取出,供照射用。Au 样品经<sup>7</sup>Be 束照射后,再次退火,以消除辐照造成的晶格损伤。

用于测量  $\gamma$  射线的高纯锗探测器使用<sup>133</sup>Ba与<sup>137</sup>Cs 的特征  $\gamma$  射线进行了能量刻度。探测器对于<sup>137</sup>Cs 的 661.7 keV  $\gamma$  射线的分辨(FWHM)为 2.5 keV。测量使用 KODAQ 数据获取系统,每 1 h 自动存储 1 次能谱,然后将能谱清除并开始下一轮获取。为减小计数统计误差,需较高的计数率,但计数率提高将造成脉冲叠加而引起  $\gamma$  谱的分辨变差,并使测量系统的死时间增加。因此,将  $\gamma$  射线的计数率选在每秒几十个计数水平。在测量过程中,样品被牢固安置在高纯锗探测器探头上方,避免因几何位置变动引起探测效率变化。

将<sup>7</sup>Be 束照射后的金样品冷却 133 d,以降低辐照中产生的短半衰期的放射性本底,并使  $\gamma$  射线计数率降至每秒几十个计数水平。为减少环境本底,测量在屏蔽体中进行。屏蔽体由有机玻璃、铝、铜、铅 4 层屏蔽材料组合构成。测量持续 4.8 个半衰期,得到的  $\gamma$  谱示于图 1。

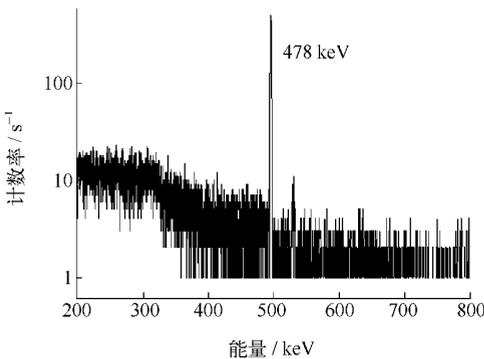


图 1 典型的  $\gamma$  射线谱

Fig. 1 Typical gamma ray spectrum

## 2 数据处理与结果

将每小时获取的  $\gamma$  谱合并成每天的能谱后进行处理。 $\gamma$  射线在探测器中产生的全能脉冲高度近似服从高斯分布,选择 478 keV  $\gamma$  射线峰谱段范围为  $\pm 5\sigma$  ( $\sigma$  为表征峰形宽度的特征量),在此范围内包含了近 100% 的全能脉冲计数。478 keV  $\gamma$  射线净计数的抽取按以下步骤进行:1) 积分 478 keV  $\gamma$  射线峰  $\pm 5\sigma$  段内的每道计数,以得到该峰谱段的粗面积;2) 用平滑阶梯函数表示连续本底谱,求出该谱段范围内

的本底面积;3) 用粗面积减去本底面积得到 478 keV  $\gamma$  峰的净峰面积,即净计数。通过上面步骤,从每一能谱中得到净峰面积,而后进行净峰面积的死时间修正。根据香港天文台提供的标准时间校对获取系统的时钟后,对每一能谱对应的时间进行修正,最后得到每天累积测量到的 478 keV  $\gamma$  射线的计数随时间的变化,再用指数衰变函数进行拟合处理(图 2)。如此得到的<sup>7</sup>Be 在 Au 中的衰变常量和半衰期为:

$$\lambda_{Au} = (1.5067 \pm 0.0001) \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

$$T_{1/2} = (53.245 \pm 0.003) \text{ d}$$

此前,Norman<sup>[4]</sup>测量的<sup>7</sup>Be 在 Au 中衰变的半衰期为  $(53.311 \pm 0.042) \text{ d}$ ,刘志毅<sup>[5]</sup>的测量结果为  $(53.270 \pm 0.019) \text{ d}$ 。上述两个实验测量中,测量前未对样品进行退火处理,它们的测量值均略高于本工作的测量值。考虑到给出的误差,两者与本测量结果之差均小于 0.1%。

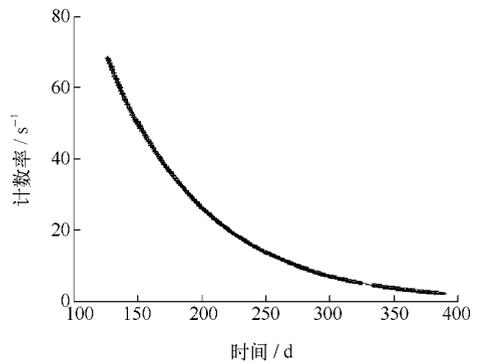


图 2 Au 样品中的<sup>7</sup>Be 衰变曲线

Fig. 2 <sup>7</sup>Be decay curve in gold sample

● — 实验点; 实线 — 拟合曲线

## 参考文献:

- [1] EMERY G T. Perturbation of nuclear decay rates[J]. Ann Rev Nucl Sci, 1972, 22: 165-202.
- [2] HAHN H P, BORN H J, KIM J I. Survey on the rate perturbation of nuclear decay [J]. Radio Acta, 1976, 23: 23-37.
- [3] DOSTAL K P, NAGEL M, PABST D. Variations in nuclear decay rates[J]. Z Naturforsch, 1977, 32a: 345-361.
- [4] NORMAN E B, RECH G A, BROWNE E, et al. Influence of physical and chemical environments on the decay rates of <sup>7</sup>Be and <sup>40</sup>K[J]. Phys Lett, 2001, B519: 15-22.
- [5] LIU Zhiyi, LI Chengbo, WANG Siguang, et al. High precision measurement of half-life of <sup>7</sup>Be [J]. Nucl Phys Rev, 2003, 20: 235-238.