

^{229}Ra 的衰变纲图 *

沈水法 袁双贵 杨维凡 方克明 牟万统 张学谦

李宗伟 钟纪泉 郭天瑞 陈展图

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1996-08-14 收稿

摘 要

用 14MeV 中子轰击 Th 靶, 通过 $^{232}\text{Th}(n, \alpha)$ 反应产生了 ^{229}Ra , 由放射化学分离技术从被照靶物质中分离出 ^{229}Ra 的活性, 利用 $\gamma(\text{X})$ 谱学方法, 首次观测到了属于 ^{229}Ac 的能量为 14.5、15.6、18.8、21.8、22.5、44.0、47.5、55.0、63.0、69.6、93.6、94.1、98.5、102.2、104.5、106.1、161.1、171.5keV 的 18 条新衰变 γ 射线, 并建议了 ^{229}Ra 的部分衰变纲图.

关键词 化学分离, 衰变纲图, 八极形变, 转动带.

H. L. Ravn 等根据 β 计数测得 ^{229}Ra 的半衰期为 4min^[1]. L. Westgaard 等测得 ^{229}Ra 的 β 端点能量为 $1.76 \pm 0.04\text{MeV}$, 并给出了一个衰变能的下限为 $1.76 \pm 0.04\text{MeV}$ ^[2]. 由于 ^{229}Ra 的衰变 95% 以上馈送到 ^{229}Ac 的低位态^[2], 而且 ^{229}Ra 和 ^{229}Ac 的基态自旋、宇称分别为 $5/2^+$ 和 $3/2^+$, 母体到子体的 β 跃迁为允许跃迁, ^{229}Ra 的衰变很可能大部分落到基态, 所以对伴随 ^{229}Ra β 衰变而产生的 γ 射线进行测量是非常困难的. 因此, 迄今为止还未见伴随 ^{229}Ra β 衰变的 γ 谱测量的报道. 另一方面, 由于 ^{229}Ac 处于反射非对称形变(八极形变)区, 借助于 ^{229}Ra 的衰变纲图, 可以研究 ^{229}Ac 八极形变的情况, 从而, 有助于对 Ac 链(如对 $^{219}, ^{221}, ^{223}, ^{225}, ^{227}, ^{229}\text{Ac}$)八极形变行为进行深入系统地探讨.

实验是在中国科学院近代物理研究所的中子发生器上进行的, 利用 300kV 氘轰击铀-钍靶, 通过 $t(d, \alpha)n$ 反应产生了平均流强为 $2 \times 10^{11}\text{s}^{-1}$ 的快中子束. 通过 $^{232}\text{Th}(n, \alpha)$ 反应产生了 ^{229}Ra . 在长期平衡情况下, ^{232}Th 中包含了产生率约 $1000 / \text{s} \cdot \text{mmol}$ 的长寿命 ^{228}Ra 和 ^{224}Ra . 为尽量降低本底, 实验前采用放射化学分离方法去除了靶物质 (^{232}Th) 中的 Ra. 并将其中的 5g $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ 照射 10min 后, 用快速靶辐照传输装置把它传入化学分离室, 并立即热溶于 6ml 1:1 HNO_3 中, 在冰浴中冷却后加入 1ml 饱和 BaCl_2 溶液, 搅匀再加入 15ml 5:1 (V/V) $\text{HCl}-\text{CH}_3\text{OCH}_3$, Ra 与 BaCl_2 共沉淀, 离心分离, 丢掉离心液, 重复进行两次 BaCl_2 沉淀, 最后一次 BaCl_2 沉淀过滤, 制成固体源. 每分离一个靶需约 8min. 化学分离

* 中国科学院八五重大项目和国家自然科学基金资助.

后将源送到屏蔽很好的铅室中开始测量,用一台 HPGe 小平面低能 γ 射线探测器和一台 GMX HPGe γ (X)射线探测器分别对样品测量了 X、 γ 时间序列单谱和 X- γ -t、 γ - γ -t符合谱,测量持续了 12min. 有效直径 32mm,灵敏深度 10mm 的 HPGe 小平面低能 γ 射线探测器对 122keV γ 射线的能量分辨为 580eV. 这台 GMX HPGe γ (X)射线探测器具有能量分辨 2keV(对 ^{60}Co 的 1332.5keV 的峰)和 18%的效率. 为了增大探测效率,两台探测器面对面地放置于源的两侧,源与探测器的距离约为 1cm. 探测系统的符合分辨时间是 200ns. 用本所研制的 PC-CAMAC 多参数数据获取系统获取单谱和符合事件,并记录于磁盘上. 由于 Ba 和 Ra 具有类似的化学性质,同时在照射过程中,产生了很强的裂变产物 Ba 的放射性同位素,在短时间内 Ra 从大量的被照物质中分离出来后,样品中保留了较强的 Ba 活性. 在测得的 X 单谱中清晰可见 Ac $K_{\alpha 1}$ 和 Ac $K_{\alpha 2}$ X 射线(图 1).

由观测到的 Ac $K_{\alpha 1}$ 和 Ac $K_{\alpha 2}$ X 射线的半衰期(约 4min)(图 2),可以看到它们主要起

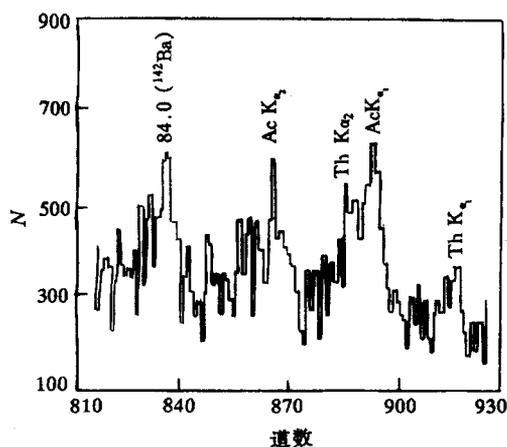


图1 测得的X射线谱

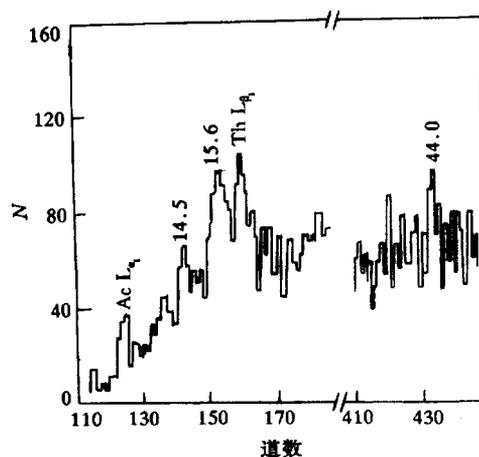


图2 Ac K X射线的衰变曲线

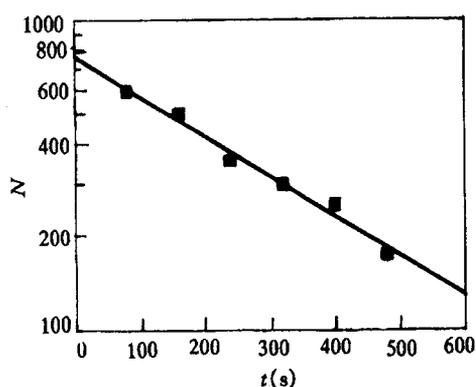
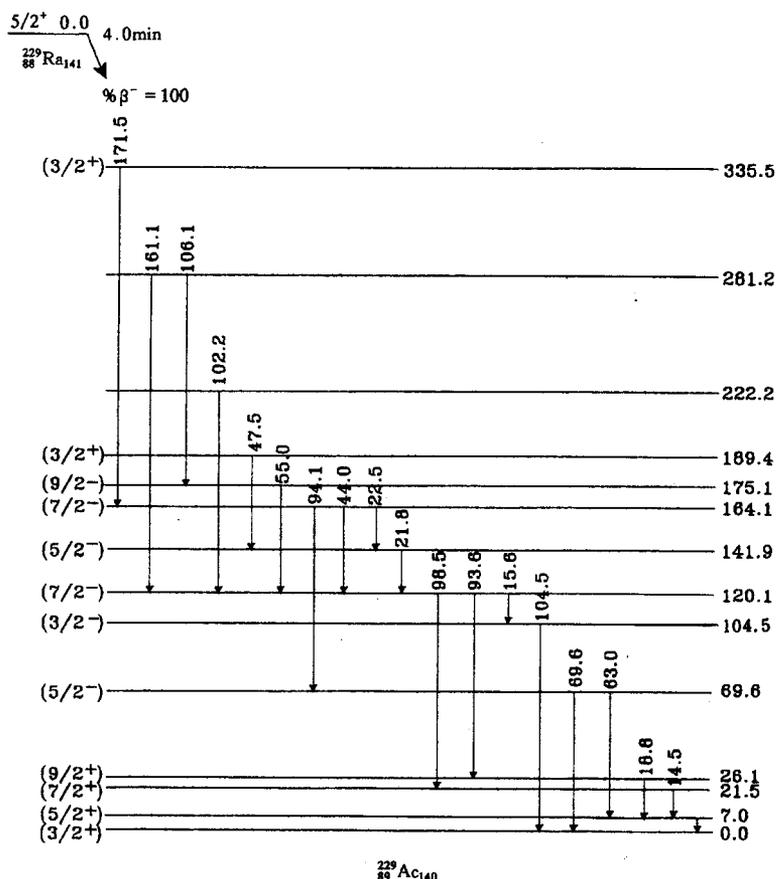


图3 由Ac $K_{\alpha 1}$ X射线符合的部分 γ 谱

源于 ^{229}Ra β^- 衰变后的子核 ^{229}Ac 经内转换发射出的特征 X 射线,同时,分析在 14MeV 中子轰击 ^{232}Th 时可能产生的所有 Ra 的放射性同位素中,由(n, α)反应得到 ^{229}Ra 的反应道是最主要的. 这与上述观测到的 Ac KX 射线的行为是一致的. 用 Ac $K_{\alpha 1}$ X 射线峰开门所得到的 γ 谱中,我们确认了 3 条新 γ 线(14.5、15.6、44.0keV)(图 3). 以此为根据,由 γ - γ 符合关系,又发现了另外 15 条新 γ 线(18.8、21.8、22.5、47.5、55.0、63.0、69.6、93.6、94.1、98.5、102.2、104.5、106.1、161.1、171.5keV). 在这 18 条 γ 射线中

14.5、15.6、18.8、21.8、22.5keV 的 γ 射线能量不可靠性为 $\pm 0.3\text{keV}$,其余 γ 射线的能量不可靠性皆为 $\pm 0.5\text{keV}$. 根据这些 γ 射线的能量、符合关系及能量总合关系,我们建议了

图4 ^{229}Ra 的部分衰变纲图

^{229}Ra 的部分衰变纲图(图4)。根据纲图, 7.0keV 的跃迁, 一方面可能具有高的 M 内转换系数, 另一方面, 即使发射这一 γ 射线, 由于它低于探测系统下限, 也不能观测到(图中用虚线标出)。这一纲图中的大部分能级基本上与 R. C. Thompson 等在 $^{230}\text{Th}(t, \alpha)$ 反应研究中所得到的 ^{229}Ac 的一些激发态相一致^[3], 此外, 还得到了能量分别为 21.5、141.9、175.1、222.2keV 的 4 条新能级。通过该实验结果与文献[3]中用转移反应得到的 ^{229}Ac 的能级及 G. A. Leander 等以八极形变参数 $\beta_3 = 0.07$ 所做的计算^[4] 相比较, 我们指定 7.0、21.5、26.1keV 能级是建立在 $3/2^+$ [651] 带头上的基态转动带成员, 自旋、宇称分别为 $5/2^+$ 、 $7/2^+$ 和 $9/2^+$ 。带内未见文献[4]中所给出的能级交叉, 这表明 ^{229}Ac 具有较小的八极形变。因此, 它可能处在 $A = 225$ 附近八极形变核区的边缘。

衷心感谢中子发生器人员的大力支持。

参 考 文 献

- [1] H. L. Ravn *et al.*, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **37**(1975)383.
[2] L. Westgaard *et al.*, *Z. Phys.*, **A275**(1975)127.
[3] R. C. Thompson *et al.*, *Phys. Rev.*, **C15**(1977)2019.
[4] G. A. Leander *et al.*, *Phys. Rev.*, **C37**(1988)2744.

Decay Scheme of ^{229}Ra

Shen Shuifa Yuan Shuanggui Yang Weifan Fang Keming Mou Wantong
Zhang Xueqian Li Zongwei Zhong Jiquan Guo Tianrui Chen Zhantu

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

Received 14 August 1996

Abstract

The ^{229}Ra has been produced in the $^{232}\text{Th}(n,\alpha)^{229}\text{Ra}$ reaction by 14MeV neutron irradiation of natural Thorium. The ^{229}Ra activities were separated from irradiated target material by radiochemical separation technique. 18 new γ rays with energies 14.5, 15.6, 18.8, 21.8, 22.5, 44.0, 47.5, 55.0, 63.0, 69.6, 93.6, 94.1, 98.5, 102.2, 104.5, 106.1, 161.1, 171.5keV attributed to the ^{229}Ac were observed for the first time by using $\gamma(X)$ spectroscopic methods. A partial decay scheme of ^{229}Ra was proposed.

Key words chemical separation, decay scheme, octupole deformation, rotational band.