

核物理研究中的一个前沿领域¹⁾

——重丰中子区新核素的合成和鉴别

袁双贵 张天梅

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

叙述了远离 β 稳定线新核素研究的重要意义. 介绍了合成和鉴别重丰中子区新核素的技术路线. 报告了我们的实验结果: 在世界上首次合成和鉴别了两种重丰中子新核素 ^{185}Hf 和 ^{237}Th , 测定了它们的半衰期分别为 $3.5 \pm 0.6 \text{ min}$ 和 $5.0 \pm 0.9 \text{ min}$, 发现了一条能量为 $164.5 \pm 0.5 \text{ keV}$ 的新 γ 射线并指定为 ^{185}Hf 衰变.

关键词 合成, 鉴别, 新核素

Abstract

The significance of the study on new nuclides far from stability is described. The technical approach of syntheses and identification for new nuclides in heavy neutron-rich region is introduced. Our experimental results are reported, which include two new heavy neutron-rich nuclides ^{185}Hf and ^{237}Th were synthesized and identified for the first time. Their half-lives were determined to be $3.5 \pm 0.6 \text{ min}$ and $5.0 \pm 0.9 \text{ min}$ respectively. A new $164.5 \pm 0.5 \text{ keV}$ γ -ray was found and assigned to the ^{185}Hf decay.

Key words synthesis, identification, new nuclide

一、科学意义

现在我们正站在原子核研究领域可能大发展的门口, 如何跨入这个大门, 一个关键的问题是更加深入地认识原子核, 从而才能进一步掌握它、利用它. 目前人们对原子核的认识大部分仍然主要是通过对 β 稳定线附近几百个核的 α, β, γ 衰变和裂变的研究而取得的, 并建立了一套核结构模型理论, 如壳模型、液滴模型和集体模型等. 而远离 β 稳定线的很多核, 寿命很短, 已经出现如同 β 缓发粒子、 β 缓发裂变、直接质子发射及重离子衰变等奇异衰变方式, 并可能出现更新的丰富多彩的衰变方式和令人感兴趣的奇异现象. 对其研究还不过刚刚开始, 性质到底如何尚不太清楚. 因此, 通过原子核反应合成远离 β 稳定线的新核素, 研究它们

的衰变性质尤其是奇异衰变性质, 研究其基态、激发态能级结构和核结构其他谱学信息, 探讨在远离核不平衡的核子环境中, 壳模型幻数、核的形状、核的大小、电磁矩的变化, 核内集体运动和单粒子运动的关系及中子-质子相互作用, 对于拓宽原子核研究对象, 检验和发展现有核结构理论所起的作用是非常重要的. 众所周知, 核物理研究在能源和动力等方面曾起过重大的推动作用. 像人们熟悉的裂变和聚变的发现, 对人们的认识和社会的发展做出了重大贡献. 今后, 随着越来越多的新核素的合成和研究, 原子核的应用将会出现新的突破. 所以, 远离 β 稳定线新核素的合成和研究是国际原子核物理学科一个持续进行着的重要方面. 近年来, 更已成为一个竞争激烈的前沿领域.

1) 中国科学院八五重大项目.

在重丰中子区,不仅存在一些预言的新衰变模式,还存在着计算的反常半衰期和大形变等极富吸引力的研究对象。此外,这一核区还包括对检验核结构的壳模型和八极形变等具有重要意义的一些小区,如 ^{208}Pb 邻近核和 $A=225$ 邻近核,因此,对该核区的研究可以得到核衰变、核结构、核谱学等多方面的重要结果。所以,我们选择了这一区域为主攻方向,并积极地开展了工作。

二、技术路线

随着远离核的相继发现,逐渐把新核素研究的工作阵地逼向非常困难的区域,而且难度日益加大,也正是因为如此,该领域已成为极富挑战性和吸引力的领域。该领域工作的困难在于怎样产生目标核,产生了又如何把它识别出来。

随着研究对象越来越远离 β 稳定线,对新核素的生成方法提出了苛刻的要求。对于我们研究的核区,过去惯用的产生丰中子核的反应机制象裂变、高能质子散裂和转移及低能重离子转移反应都不太适宜。必须采用新的方法。结合我们的实际情况,我们认为,以 14MeV 快中子引起的 $(n, 2p)$ 反应^[1,2]可以很好地合成我们待观测的重丰中子新核素。

鉴别方法的激烈挑战迫使我们不得不找到我们自己的有效手段。鉴别出一个新核素大体上要分两步走。第一步是将我们的目标核从大量的反应产物(通常要比目标核高十万倍或百万倍)中分离出来;第二步是对分离出来的目标核通过测量其活性进行观测,最后指定这个新核素。国外近年来通常采用电磁方法来完成分离这一步。但由于在该核区目标核大都具有高熔点和小反冲动能的特点,故电磁方法很不适宜。因此,我们就采用了放射化学分离方法将待观测对象元素从被照射的靶物质中分离出来,以鉴别 Z 值。这样,正好避开了我们电磁手段落后的弱点而发挥了我们的优势。上述第二步工作是采用通过已知子体活性的观测来指定

未知母体的方法来完成的,最后鉴别该新核素的 Z 和 A 值,从而把它指定下来。这样做允许我们以单谱测量方式来进行,所以可以大大降低对产额的要求。

综上所述,我们的技术路线是:以适宜的反应机制产生新核素,用放射化学分离方法把目标核同 Z 值元素从被照靶物质中分离出来以鉴别 Z 值,根据母子体衰变关系,通过已知子体活性的观测来指定未知母体,即可鉴别出 Z 和 A 值,从而可以确认该新核素。与此同时,还可给出它的一些衰变性质。

针对这一具有重要科学意义的核区,采用这样一条技术路线来进行研究,既有其必要性,又存在可能性,因此,从某种意义上讲,就导致了必然性。它是既适合于我国国情又十分有效、非常可靠的路子。这已被我们的实验^[3,4]所证实。所以,它已经形成我们独具特色的技术路线。而重丰中子区已经形成我们独具特色的工作阵地。

三、实验结果

根据上述思想和路线,我们开展了不少工作,进行了多次实验,取得了两项结果,即重丰中子新核素 ^{185}Hf 和 ^{237}Th 的首次合成和鉴别。

1. ^{185}Hf 的首次合成与鉴别

^{185}Hf 是由 $^{186}\text{W}(n, 2p)^{185}\text{Hf}$ 反应生成的。实验是在兰州大学和中国科学院近代物理研究所的高压倍加器上利用 14MeV 中子进行的。约 20g 分析纯天然钨粉被照射了 15 分钟。

照射结束后,立即将被照钨粉溶于浓氢氟酸与浓硝酸的混合液中,再向溶液中加入饱和的硝酸钡,使 Hf 生成 BaHfF_6 沉淀而从钨、钼和其他反应产物中分出。离心分离后,白色结晶状沉淀被用作测量样品。紧接着,在照射结束 8min 后开始测量。辐射源和一台 18% 的 GMX HPGe 探测器置于一个很好屏蔽了的铅室中。以我单位研制的 PC-CAMAC 多参数数据获取系统获取了时间序列 γ 谱,并记录于磁

盘上。为适合 ^{185}Hf 的子体 ^{185}Ta 的半衰期 ($T_{1/2} = 49 \pm 2\text{min}$)^[5], 以便观察 ^{185}Ta 活性可能的迅速增长及其后的衰变, 测量持续了 100min。为累计计数和提高统计精度, 上述过程重复了四次。尽管靶物质(钨粉)的量很大, 化学分离时间又短, 一部分 W 和 Ta 的活性仍然留在样品中。不过, 根据半衰期、跃迁能量和相对强度的关系^[5,6], 我们还是指定了能量为 177.59, 173.91 和 107.80keV 的 γ 射线为 ^{185}Ta 的衰变(图 1)。

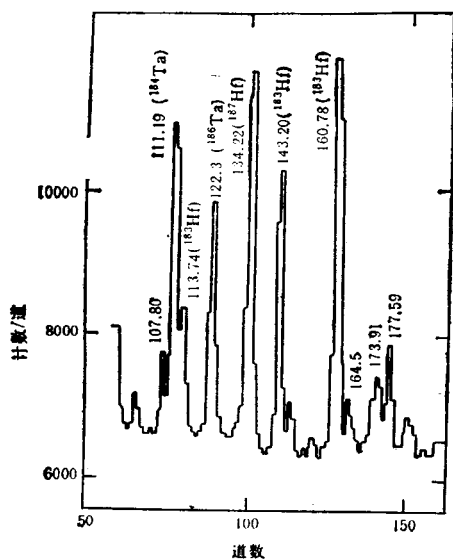


图 1 测量的部分 γ 射线谱

新核素 ^{185}Hf 的确认主要是根据其已知子体 ^{185}Ta 的特征 γ 射线强度的增长(图 2)。我们仔细地跟踪了它的最强峰 177.59keV γ 射线, 其强度的时间变化具有明显的迅速增长和衰变

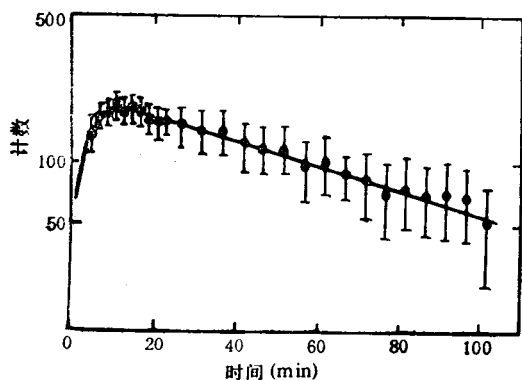


图 2 177.59keV γ 射线的增长和衰变曲线

规律, 由此可以肯定它的活性是来源于其母体 ^{185}Hf 。用递次衰变分析程序对 177.59keV γ 射线增长和衰变的实验曲线进行了拟合, 得到了 ^{185}Hf 和 ^{185}Ta 的半衰期分别为 $3.5 \pm 0.6\text{min}$ 和 $48.6 \pm 5.6\text{min}$ (图 2)。后者与文献值^[5]符合得很好, 前者与预言值^[7]一致。与此同时, 我们发现了一条能量为 $164.5 \pm 0.5\text{keV}$ 半衰期为 $4.3 \pm 0.9\text{min}$ 的新 γ 射线(见图 1,3), 并指定为 ^{185}Hf 衰变。

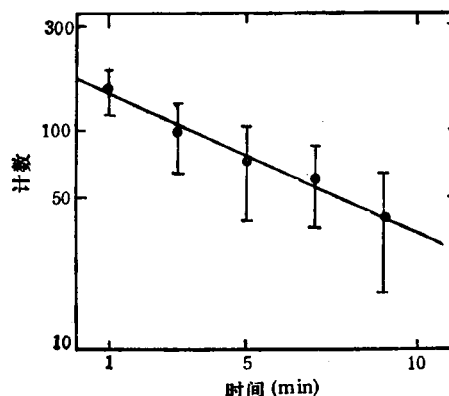


图 3 164.5keV γ 射线的衰变曲线

2. ^{237}Th 的首次合成与鉴别

为了使我们的研究扩展到更重的核, 我们选择了 ^{237}Th 这个目标核。 ^{237}Th 仍然是通过快中子照射以 $^{238}\text{U}(n, 2p)^{237}\text{Th}$ 反应产生的。实验是在中国科学院近代物理研究所的高压倍加器上利用 14MeV 中子进行的。约 16g $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ 粉末被照射 15 分钟。

紧接着靶子被溶于含有 7ml 的浓 HNO_3 的水中。溶靶液转入事先加了 CCl_4 与 TBP 萃取剂的分液漏斗中, 再加入 20mg I^- 反载体和几滴 NaNO_2 , 震荡萃取。水相再用包括了 0.05M PMBP- CHCl_3 萃取、0.5N HNO_3 洗涤和 4N HNO_3 反萃的循环溶剂萃取过程。使微量的钍元素从铀及大量的反应产物中分出。反萃后的水相用作测量源。接下去在照射结束 12min 后, 立即进行测量。测量条件及过程基本上与上述 ^{185}Hf 的情况相同, 这里不再重述。测量持续了 30min, 以适合 ^{237}Th 子体 ^{237}Pa 的半衰期 ($T_{1/2} = 8.7 \pm 0.2\text{min}$)^[8], 以便观察 ^{237}Pa

活性可能的迅速增长及其后的衰变。上述过程重复进行了 25 次。被测得的特征 X 和 γ 射线表明,在化学分离之后的被测源中除存在 Th 和 Pa 外,还包含 U 和裂变产物(特别是裂变产物)的活性。不过,对 ^{237}Pa 的两条强 γ 射线(853.7 和 865.0keV)没有造成干扰。图 4 给出

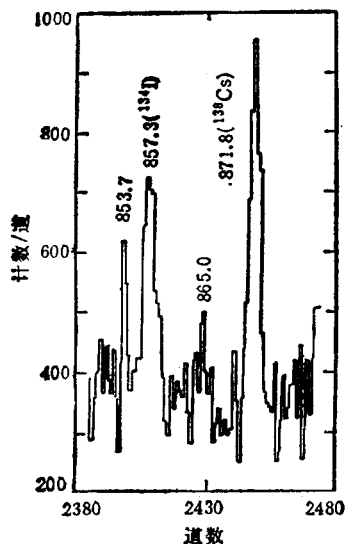


图 4 测量的部分 γ 射线谱

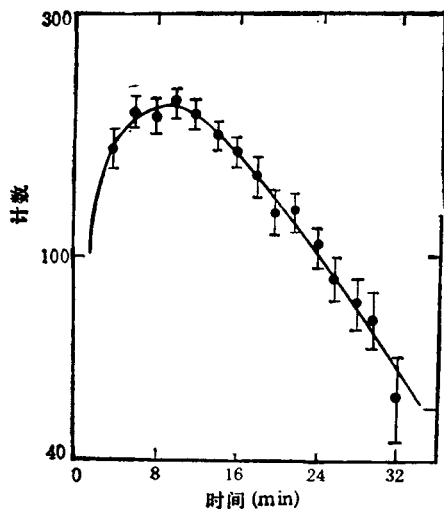


图 5 853.7keV γ 射线的增长和衰变曲线

了所观测的 γ 谱的一部分。由半衰期、跃迁能量和分支比的关系^[6,8],可将所测得的 853.7 和 865.0keV 两条 γ 射线指定为 ^{237}Pa 衰变(图 4)。 ^{237}Th 的指定主要是根据 ^{237}Pa 活性的增长(图 5)。 ^{237}Pa 的最强的一条 853.7keV γ 射线被跟踪了。

用递次衰变分析程序对 853.7keV γ 射线的增长和衰变的实验曲线进行拟合,获得了 ^{237}Th 和 ^{237}Pa 的半衰期分别为 $5.0 \pm 0.9\text{min}$ 和 $8.5 \pm 1.0\text{min}$ 。后者与文献值^[8]一致。前者与预言值相符^[7]。

远离 β 稳定线新核素的研究是一个具有非常重要的科学意义的前沿领域,而重丰中子区的新核素研究还有其特殊的学术价值。我们发现的新核素 ^{185}Hf ^[3] 就是一个不可多得的大形变核,我国发现的另外两种新核素 ^{208}Hg ^[9] 和 ^{202}Pt ^[10] 具有反常半衰期。这更进一步激起了我们对该区进行研究的浓厚兴趣,引起了我们的高度重视。今后,我们将在不断改进和发展实验技术提高实验精度的同时,把我们的研究工作推向深入,为核科学的发展作出新贡献。

- [1] E. T. Bramlitt and R. W. Fink, *Phys. Rev.*, **131** (1963),2649.
- [2] S. Lulic, P. Strohal and I. Slaus et al., *Nucl. Phys.*, **A154**(1970),273.
- [3] Yuan Shuanggui et al., *Z. Phys.*, **A344** (1993), 355.
- [4] Yuan Shuanggui et al., *Z. Phys. A*, **346** (1993), 187.
- [5] E. Browne, *Nuclear Data Sheets*, **58**(1989), 441.
- [6] V. Reus and W. Westmeier, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **29** (1983),1.
- [7] A. Staudt et al., *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **44**(1990),79.
- [8] Y. A. Ellis-Akovioli, *Nuclear Data Sheets*, **49** (1986),181.
- [9] 张立,核物理动态,**10**(1993),5.
- [10] S. Shi et al., *Z. Phys. A*, **342**(1992),369.