

* 成果与应用 *

我国在世界上首次建立 两个重要新核素衰变纲图的重要意义

近代物理研究所

(兰州 730000)

不稳定原子核(放射性同位素)的衰变纲图,是原子核处于低激发能态下主要物理性质的集中反映,是原子核物理学科的一项基本内容。它也是具有最广泛应用价值的核物理研究,早已渗透到工业、农业、能源、国防、医学、环境、计量乃至天文、考古、地学、生物、化学等许多基础学科领域之中,因而始终是一个富有魅力的研究课题。

最近,中科院近代物理研究所“新核素合成和研究”项目组在远离稳定线核素的衰变性质和核结构的深入研究中取得重要进展。徐树威研究员领导的试验小组突破了技术难点,解决了一个长达 20 多年的棘手问题,达到了美国和前苏联著名实验室尝试做而未能实现的物理目标,成功地在兰州重离子加速器上首次建立了短寿命缺中子核素 ^{153}Er (铒-153)和 ^{157}Yb (铒-157)的完整的 Ec/β^+ (电子俘获和正电子)衰变纲图,填补了这两个核素相应同位素链上核结构研究的空白。该工作的重要物理成果是:

1、新建的 ^{153}Er 的纲图包括有 14 条 γ 射线、12 条能级和对应的 Ec/β^+ 衰变分支比,并从中发现了一个新的三粒子态和两个新单粒子态。

2、新建的 ^{157}Yb 的纲图包括有 25 条 γ 射线、19 条能级和对应的 Ec/β^+ 衰变分支比,并从中发现了一条新的转动带和一个新的同质异能态。

3、这两个纲图提供了清楚的实验证据,说明 ^{153}Er 的子核 ^{153}Ho (钬-153)的基态形状是球形,而 ^{157}Yb 的子核 ^{157}Tm (铥-157)的基态形状是变形。进一步表明 Ho、Tm 奇 A 核同位素链中,基态形状转化(由球形到变形)的突变点是中子数 86 和 88。

这是世界上对这两个缺中子远离核迄今为第一次最系统的低位谱学的研究成果,也是中国核物理学家在国内实验装置上第一次测定的完整 β 衰变纲图。有关论文年内将分别在德国 Z. Phys. A 和美国 Phys. Rev. C 国际著名杂志上公开发表。

在过去的 70 年中,国际上共发表了约 1500 个核素的较完整的衰变纲图,其中没有一个是中国人国内首先测定和建立的。由于国际竞争剧烈,尚未建立起纲图的目标核逐年减少,研究难度也变得越来越来大。核素 ^{153}Er 和 ^{157}Yb 的研究除具有很大技术难度外,并具有重要的物理意义。它们的子核 ^{153}Ho 和 ^{157}Tm 处于基态形状急剧变化的部位,尽管相邻同位素的基态形状是已知的,如若不知道 ^{153}Ho 和 ^{157}Tm 基态形状,仍然无法准确知道在整个同位素链中基态形状变化的突变点。因此,测定 ^{153}Er 和 ^{157}Yb 的衰变纲图,进而得到 ^{153}Ho 和 ^{157}Tm 的低位能级和基态形状,长期以来为人们所关注。

20 多年来,与 ^{153}Er 和 ^{157}Yb 邻近核素的衰变纲图已先后被发表,但建立它们本身的 Ec/β^+ 衰变

纲图的努力却一直未获成功。据文献记载,70年代美国著名的橡树岭国家实验室曾测过 ^{153}Er 的衰变,80年代前苏联著名的联合核子研究所先用在线同位素分离器把反应产物按质量数分离,再测定 ^{153}Er 的衰变,均未获得有关 ^{153}Er 的 Ec/β^+ 衰变的有价值的物理信息。

徐树威领导的实验小组经过认真调研和分析后指出:因为反应同时生成的,与目标核质量数相同的其他干扰核都是强而复杂的 γ 发射体,用国际上通常使用的在线同位素分离器按质量数分离反应产物,无法除去来自这些干扰核引起的强而复杂的 γ 本底,测量目标核发射的 γ 十分困难,这就是症结所在。对此,经过长达几年的努力,他们提出并建立了氦喷射带传输 $X-\gamma$ 符合探测系统,把反应产物按不同元素进行分离。因为反应同时生成的,与目标核属于同一元素的其他干扰核只发射单一的 γ 射线。这使得测量目标核的 γ 射线时,本底则大为减少,问题因之迎刃而解。 ^{157}Yb 的情况也完全与此类似。1994年4月该小组借助兰州重离子国家实验室 SFC 加速器提供的 138 兆电子伏的氧-18 离子束轰击 ^{142}Nd (钕-142)和 ^{147}Sm (钐-147)同位素靶,产生了 ^{153}Er 和 ^{157}Yb 。并利用自己建立的氦喷嘴快速带传输系统及 $X-\gamma$ 和 $\gamma-\gamma$ 符合测量手段,首先将反应产物按不同元素分离后再测量其衰变性质,终于获得成功,在世界上第一次建立起这两个核的完整的 Ec/β^+ 衰变纲图,并从中获得了丰富的新的物理结果。

在该项实验中,兰州重离子加速器供束稳定,束流聚焦良好,流强大于 0.5 微安,测量和获取装置运行可靠。正式获取数据时间占供束时间的 85%。共纪录到 1.5×10^8 个符合事件。这表明该实验室的加速器、数据获取和核物理实验设备的技术性能和运行状况均已达到国际上同类在线实验的先进水平。

该项成果问世不久,就得到了国内外同行的高度评价和赞扬。国外审稿人对上述三方面新的物理结果逐一给予了充分肯定,并强调指出:(1)新的三粒子态的信息是稀少和珍贵的,因而特别令人感兴趣。(在整个轻稀土核区,同类型三粒子态前人共发现五例)(2)在 ^{157}Yb 纲图中发现的转动带和同质异能态,更加有意义,原因是 80 年代国外两家实验室用在束 γ 方法均未找到它们的缘故。目前已有理论家对此进行专门的理论分析。世界著名核物理学家、前日本物理学会理事长、东京大学校长、现日本理化所所长 Arima 教授听到该项成果的口头报告后,连声称赞,对首次发现的三粒子态、同质异能态和基态形状突变点表示了极大兴趣,认为这是由低位能级结构获得重要核结构信息的重要实例,并指出在 Ho 和 Tm 同位素链中形状突变点(中子数 86 和 88)与已知的相邻同位素链核形状的突变点(中子数为 88 和 90)之间是有差异的,值得从理论上作深入的研究。