

新 核 素 铂-202

石 双 惠 傅 德 基

(中国科学院上海原子核研究所, 上海 201800)

核素铂-202 是我国首次成功合成发现的新核素。阐明了寻求新核素在基础研究中的重要意义及其在应用方面的社会效益。叙述了发现铂-202 的核反应及核衰变竞争实验过程和产物的鉴别手段, 并从理论上分析和揭示了该新核素的物理特性。

关键词 新核素, 核反应, 核结构, 核技术

Abstract

A new nucleus Pt(202) has been synthesized for the first time in China. Its significance in both fundamental research and possible future applications are expounded. The nuclear reaction, decay channel competition and separation procedure used in the production and identification of Pt(202) are described. The spectral features of this new nucleus are investigated theoretically as well.

Key words new nucleus, nuclear reaction, nuclear structure, nuclear technique

一、新核素研究的意义

原子和原子核是物质构成的两种不同的层次, 我们常说的元素指的是原子, 核素则指的是原子核。标志元素的主要参量是原子序数, 标志核素的主要参量却有两个, 即质子数和中子数。这是由于主宰原子体系的是原子核电荷与核外电子以及电子与电子之间的电磁相互作用, 而核体系却是集中了强相互作用、电磁相互作用和弱相互作用于一身的微观客体, 因此其内容的丰富多采可想而知。这也就是当前原子核结构、原子核反应和原子核衰变各分支学科研究的方面。

原子和原子核这两个不同的物质结构层次的主要规律的梗概表述形式就是元素周期表和核素表。元素周期表的形成和不断完善, 对科学技术的发展以及人类社会生活的进步起了重大作用; 核素表则相继从更深的物质结构层次

起着越来越大的类似于上述元素周期表的作用。例如核能的利用, 短寿命核素诊断和治疗人的疾病等。从学科研究来说, 大到探索宇宙的成因, 小至生物基因的研究, 都可以找到核素的用武之地。

原子核理论计算表明, 核素总数应达 6000 多个, 迄今已发现 2000 多个, 其中 200 多个是稳定核素。在这些稳定核素中, 质子数和中子数的配比达到平衡状态, 从而在核素表(或核素图)上构成了一个狭长的稳定带, 称为 β 稳定线。其他核素分配在 β 稳定线的两侧, 均为不稳定核素或称为 β 放射性核素。迄今为止, 人类对原子核的认识和应用都是建立在这些已知核素的基础之上, 这 2000 多个核素的现有的研究成果, 无论从理论上还是从实用上, 都给人类文明带来了巨大影响。新核素的发现和研究无疑将会揭示出更多的新现象、新规律, 并带来重大的应用价值, 这是人类认识客观世界的开拓点之一。因此寻找新核素, 已构成了原子核物

理研究的一个重要领域，也是一个国家核物理研究水平的重要标志之一，我国的核化学家和核物理学家曾在国外工作期间发现了一些新核素，但是令人遗憾的是，在这么多已知的核素中没有一个是 在中国大地上发现的，现在我们理当挥师这一前沿研究领域，作出自己的贡献。

二、铂-202 的合成与鉴别

核素表上不同核区的核素合成方法是不相同的。一般来说，缺中子核素是由加速器产生的具有一定能量的离子轰击特定的核素后通过核反应生成的；而丰中子核素则是由中子或带电离子引发裂变或其他核反应生成。新核素生成后，需要通过物理和化学的方法加以鉴别，并研究其特性。远离 β 稳定线新核素的产额极少，放射性干扰因素非常多，工作难度大。中国科学院上海原子核研究所在国产的第一台 1.4m 等时性回旋加速器上合成了新核素铂-202^[1]。铂-202 的寿命有两个理论预言值^[2]，即 $T_{1/2} = 44\text{h}$ 和 1.5h 。铂-202 的衰变路线为 $^{202}\text{Pt} \xrightarrow{\beta^-} ^{202}\text{Au} \xrightarrow{\beta^-} ^{202}\text{Hg}$ 。汞-202 是稳定核素（见图 1）。

如果在实验中探测到金-202 的衰变特征 γ 射线（能量为 440keV ），且其半衰期明显长于金-202 本身的半衰期（ 28s ），就可以证明在核反应中生成了铂-202。铂-202 是通过快中子轰击汞样品，通过核反应 $^{200}\text{Hg}(n, 2p)^{202}\text{Pt}$ 和 $^{201}\text{Hg}(n, ^3\text{He})^{202}\text{Pt}$ 而生成。核反应的阈能分别为 16.3MeV 和 9.2MeV 。快中子是由流强为 $10\mu\text{A}$ 、能量为 25MeV 的质子轰击 1mm 厚的金属铍靶而得到，其平均中子能量为 21MeV ，是一个准单色中子源。汞样品用的是分析纯的天然氧化汞。轰击持续了 38h ，冷却了 5h 后对样品进行化学分离，以尽可能多地去掉干扰放射性。分离方法大致如下：将辐照后的氧化汞样品溶在盐酸溶液中，加入适量的氯铂酸作为载体，过滤去掉残渣，然后用乙醚萃取出铂，再加入饱和氯化铵溶液使铂沉淀，最后用酒精和盐酸冲洗而制成供测量用的样品。分离后的汞、金和铂的放射性强度比分离前分别下降了 2457 倍、 231 倍和 48 倍^[3]。

我们的预备实验表明， 440keV γ 射线的半衰期在数十个小时的范围内，在最后一轮实验中，使用 50g 的分析纯氧化汞作样品。分离后的样品在很低的放射性本底的环境中，用稳

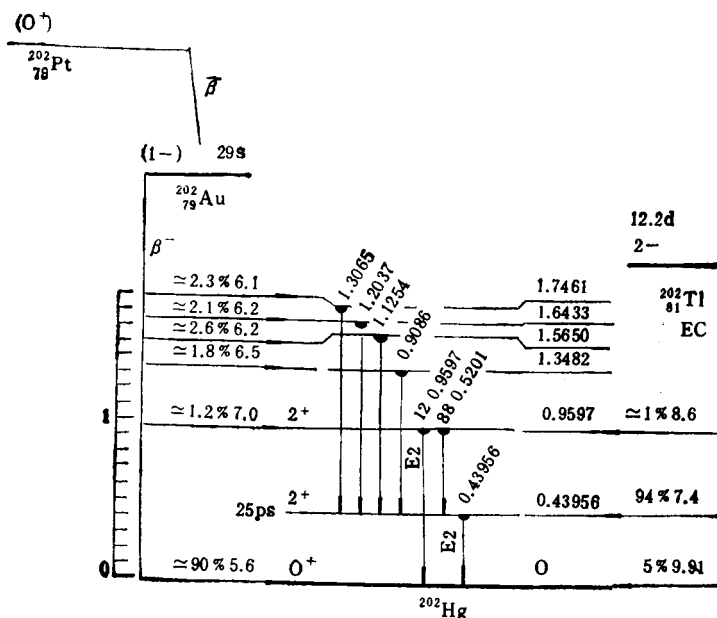
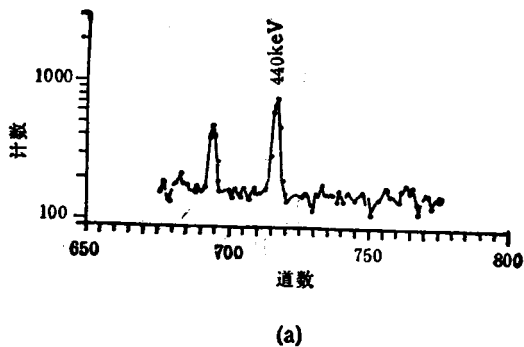


图 1 铂-202 的衰变路线

定性好、能量分辨率高的高纯锗探测器进行跟踪测量, γ 能谱测量持续了 563h, 谱线稳定. 在本实验中, 440keV 的 γ 射线有三个来源: ^{195}Hg , ^{202}Tl 和 ^{202}Pt 的衰变, 它们分别由 $^{196}\text{Hg}(m, 2n)^{195}\text{Hg}$, $^{202}\text{Hg}(p, 2n)^{202}\text{Tl}$, $^{204}\text{Hg}(n, 2pn)^{202}\text{Pt}$ 核反应生成. 根据已确立的 ^{195}Hg 的衰变 γ 分支比, 780keV 的 γ 射线和 440keV 的 γ 射线的强度比为 $I(780\text{keV})/I(440\text{keV})=100/1.8^{[4]}$, 能谱中的 780keV γ 射线的强度计算表明, 其 440keV γ 射线的贡献可以忽略不计. 而



来自 ^{202}Tl 的 440keV γ 射线, 由于其半衰期为 12.23d, 可以与来自 ^{202}Pt 衰变的 440keV γ 射线明显区别开来. 每个能谱的数据收集时间为 42h, 实验中测量到的 440keV γ 射线的衰变曲线是由 ^{202}Pt 和已知核素 ^{202}Tl 两种成分组成, 用最小二乘法得到 ^{202}Pt 的半衰期为 $T_{1/2} = 43.6 \pm 15.2\text{h}$. 这一结果与微观理论预言的 43.9h 符合. 法国和日本于 1993 年编辑出版的最新核素图上已添上了来自中国实验室中发现的第一个新成员铂-202^[5], 如图 2 所示.

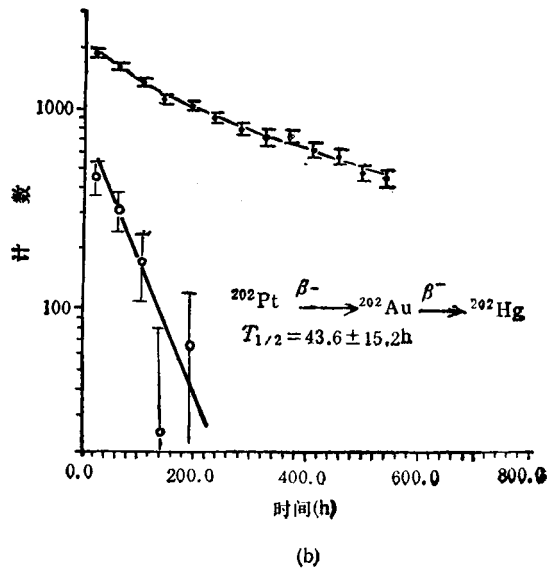


图 2

三、讨 论

关于核素的寿命, 特别是 β 衰变的寿命是近年来天体物理研究迫切需要的数据, 目前核理论的系统性研究虽已作了不少, 但寿命计算的准确性仍然较差. 在铂同位素链中, $^{202}\text{Pt}_{124}$ 由于已趋近满壳层, 与邻近核素相比, 寿命显得偏离系统学的增长不足为奇, 但其寿命的实际测量对铂同位素链的研究是很重要的. 另一方面, 球粒状陨石元素丰度测量表明, 铂的丰度比邻近元素的丰度高出数倍, 铂-202 的深入研究也可能给太阳系元素丰度提供某种信息.

研究远离稳定线核素的内部运动形态及核

形状等特性, 特别是它们的变化规律与核子数的关系对于检验和发展核模型理论非常重要. 举铂同位素链为例, 已知的铂同位素有 $^{173-202}\text{Pt}_{95-124}$, 其中 $^{190, 192, 194-196, 198}\text{Pt}$ 为自然界存在的核素, 其余为放射性核素. 已有实验能谱数据的偶偶核是 $^{180-198}\text{Pt}$, 其中已测定基态形状的核素为 $^{186-198}\text{Pt}$. 理论计算表明, 铂同位素链经历了由具有稳定形变基态到球形对称的基态的变化, $^{196, 198}\text{Pt}$ 两核素的基态形变具有非轴对称形变的不稳定性. 我们利用质子-中子乘积图, IBM-II 模型和角动量投影方法对铂-202 的低位能级和基态形变进行了理论计算, 结果都与 Pt 同位素的已有实验结果相一致.

笔者感谢杨福家教授对本工作的关心和支持。

- [1] S. Shi et al., *Z. Phys. A*, **342**(1992), 369.
[2] H. V. Klapdor et al., *Atomic Nucl. Data Table*, **31**(1984), 81;
K. Takahashi et al., *Atomic Nucl. Data Table*, **12**(1973), 101.
[3] D. Z. Yin et al., *J. Radioanal. nucl. chem. Letters*, **175-3**(1993), 207.
[4] Table of Isotope 7th edition, Edited by C. M. Lederer and V. S. Shirley.
[5] Chart of the Nuclides—Srasbourg 1992, France. Edited by M. S. Antony et al., Chart of the Nuclides 1992, Japanese Nuclear Date Committee and Nuclear Data Center, Edited by T. Horiguchi et. al.
[6] Fu Deji et al., *Chinese Phys. Lett.*, **10-5**(1993), 267.

LEP 对撞机上 τ 粒子寿命的最新测量结果¹⁾

杨长根 陈和生 唐孝威

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

报道了 τ 粒子寿命的最新测量结果, 着重介绍了我们参加的 L3 实验组的测量方法和结果。最新测量结果的 τ 寿命平均值为 $293.9 \pm 3.5\text{fs}$, 该结果与标准模型轻子普适性理论的假定相一致。

关键词 寿命, 碰撞参数, 衰变长度

Abstract

New results for the τ lifetime are reported. The average τ lifetime is $293.9 \pm 3.5\text{fs}$, which is consistent with the lepton universality hypothesis.

Key words lifetime, impact parameter, decay length

一、精确测量 τ 粒子寿命的意义

τ 粒子是 1975 年在美国斯坦福加速器实验室 (SLAC) 的正负电子对撞机 SPEAR 上, 由 MARK-I 实验组在 $e^+e^- \rightarrow e^+\nu_e\mu^+\bar{\nu}_\mu$ 的反应中发现的, 它的质量约为 1.7GeV 。

随后进行的大量实验表明, τ 粒子是自旋为 $1/2$ 的费米子。它不参与强相互作用。按照 $SU_2 \times U_1$ 的标准模型, 它与 τ 中微子组成第三代轻子。实验上, 对 τ 中微子的存在及其性质仍然必须作进一步的研究。

轻子是点粒子。在目前实验达到的能量范围内, 没有发现轻子有任何内部结构。然而 τ 轻子的质量大约是有复杂内部结构的质子的二倍, 因此对 τ 粒子各方面的性质进行深入研究, 检验它是否严格遵循标准模型, 具有特殊重要

的意义。从某种意义上讲, 如果存在某种违背标准模型的轻子现象, τ 粒子就是最可能发生这种现象的轻子。 τ 粒子质量重, 可能的衰变道很多, 寿命短, 因而对它的衰变性质的测量比较困难和复杂, 至今仍有不少悬而未决的问题。我们对衰变性质的测量远不及对 μ 子衰变性质的测量那样深入和精确。因此, 十多年来, 对 τ 衰变的实验研究和理论计算, 一直是粒子物理中十分活跃的领域。

近年来, τ 衰变中的疑难问题之一是它的寿命、质量和到轻子道衰变分支比三者之间的关系。标准模型预言了这三者之间有明确的关系:

$$R_\tau = \left(\frac{G_\tau}{G_\mu}\right)^2 = \left(\frac{m_\mu}{m_\tau}\right)^5 \frac{\tau_\mu B_1}{\tau_\tau f},$$

1) 国家自然科学基金资助项目。