

浅谈新核素铂-202

中国科学院上海原子核所 石双惠

核素表

原子和原子核是物质构成的两个不同层次，它们以不同的方式决定着物质的特性。原子由三种成份组成：质子、中子和电子。质子带正电荷，中子不带电荷，而电子带负电荷，电子的数目和质子的数目相等，这样原子就成了中性的物质单元。质子和中子位于原子的中心构成了原子核，电子则围绕原子核运动。这些核外电子决定了原子(元素)的化学性质。著名的门捷列夫元素周期表就是根据元素的电子组态建立的，它科学地反映了元素化学性质的周期变化。元素周期表的形成和不断的完善对科学技术的发展及人类社会生活起了重大作用。

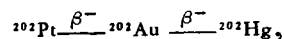
作为原子核心的原子核的大小只有原子的万分之一，但却具有原子质量的绝大部分，构成了物质的主体。它还带有正电荷，其电荷数等于质子数。质子数相同而中子数不同的原子称为该元素的同位素，(尽管同一个元素的众多同位素有着相同的化学性质，但其核性质却有很大的不同。)具有确定的质子数和中子数的原子核统称为核素。将核素按其质子数和中子数同时排列在一个平面上，以质子数 Z 为纵坐标，中子数 N 为横坐标，我们就得到了核素表或核素图。理论估计有 6000 多个核素。已经被发现的稳定核素有 280 多个，都是自然界存在的。已发现的不稳定核素有 2000 多个，自然界存在的仅有 30 多个，大部份都是人工合成的。稳定核素在核素图上形成一条从左下方到右上方的斜带，称为 β 稳定线。位于稳定线上侧的核素称为缺中子核素，另一侧的核素称为丰中子核素。中子数和质子数的比例超过一定界限，原子核就衰变成另一个原子核。有待发现的新核素都远离 β 稳定线，核素中的质子和中子数的比例远离其平衡状态。在这种极端情况下就会出现一些新现象。发现新的核素，研究远离稳定线核的内部运动形态及核形状的变化，特别是其随质子数或中子数变化的规律是非常有意义的课题。这对系统地揭示原子核的本质特征，对于检验和发展核的模型理论，开辟可能的应用途径都具有十分重要的意义。说到核素的应用，可以举出许多例子。例如核能的利用，短寿命核素诊断和治疗人的疾病。总之，大到了解宇宙的成因，小到研究细胞的结构，从工农业生产到高科技的发展都可以找到核素的用武之地。

核素表的新成员：铂-202

放射性核素又是怎样合成鉴别出来的呢？核素表

上不同核区的合成方法是不相同的。一般来讲，缺中子核素是由加速器产生的离子轰击稳定核素，通过核反应生成；而丰中子核素是由中子或带电离子引发的裂变或核反应生成。然后通过物理和化学的方法加以鉴别，以确定核素的生成。远离稳定线新核素的产额极少，通常只占核反应产额的百万分之一，甚至更少，放射性干扰因素非常多，而且新核素存在的寿命很短，通过一定方式衰变成其他核素，工作难度很大。中国科学院上海原子核研究所在经过改进、提高的 1.4 米等时性回旋加速器上合成了新核素铂-202。铂-202 是通过快中子轰击汞样品，发生核反应， $^{200}\text{Hg}(n, 2p n)^{202}\text{Pt}$ 与 $^{204}\text{Hg}(n, ^3\text{He})^{202}\text{Pt}$ 而生成。快中子由能量为 25 MeV 质子轰击 1 毫米的金属铍靶得到，其平均能量为 21 MeV，是一个准单色中子源。样品用的是分析纯的天然气态汞。轰击持续了 38 小时，冷却 5 小时后对样品进行化学分离，以尽可能多的去掉干扰放射性。分离方法可以简述如下：将氧化汞溶于盐酸溶液中，加入适量的氯铂酸作为载体，过滤掉残渣，而后用乙醚来萃取出铊，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测量样品。分离后的汞、金和铊的放射性强度比分离前的样品分别下降了 2457、231 和 48 倍。分离后的样品在很低的放射性本底的环境中，用稳定性好、能量分辨率高的高纯锗 γ 射线探测器进行跟踪测量。

铂-202 有二个理论预言值，即 $T_{1/2} = 44$ 小时或 1.5 小时。铂-202 的衰变路线为



汞-202 是稳定核素。如果在实验里测到金-202 衰变的特征 γ 射线(能量为 440 keV)，且其半衰期明显长于金-202 本身的半衰期(28 秒)，就可以证明在核反应中生成了铂-202。我们的预备实验表明 440 keV γ 射线的半衰期在数十个小时范围内。在正式实验中使用了 50 克的分析纯氧化汞作样品， γ 能谱测量持续了 563.1 小时，谱线稳定，每个 γ 能谱的数据收集时间为 42 小时。实验中测量到的 440 keV γ 射线的衰变曲线是由铂-202 和已知核素铊-202 两种成分组成，用最小二乘法得到铂-202 的半衰期为 $T_{1/2} = 43.6 \pm 15.2$ 小时。这一结果与微观理论预言 43.9 小时符合。

这个工作已发表在核物理国际刊物 *Z. Phys. A* Vol. 1, 342 上。这是我国合成的第一个新核素。是铂的最重的同位素，为原子核结构的研究提供了新的实验依

第六届全国粒子物理理论会议论文集

清明/摘编

编者按:

去年四月,中国高能物理学会在云南大学召开六届全国粒子物理理论学术会议,内容涉及到与粒子物理有关的九个问题:强粒子物理与 τ 轻子物理;强相互作用的新粒子、新机理与新方法;标准模型的检验与超出标准模型的探讨;高能粒子、重离子碰撞理论;格点规范理论的新方法与新结果;规范场论的大范围性质与非微扰方法;共形场论、量子群与非对易几何;低维与 d 维量子引力的新发展;其他若干有趣的理论问题。由于篇幅所限,只能摘录部分文章的观点,未经报告人审阅,特此说明。

一 北京谱仪和 τ 质量测量

中国科学院高能物理研究所一室主任、研究员郁忠强作了题为“北京谱仪上测量 τ 轻子质量的初步结果”的报告。

报告认为:在北京正负电子对撞机(BEPC)上利用北京谱仪(BES)完成了 τ 轻子质量的测量。在 τ 对产生阈值附近进行扫描,选择 $e\mu$ 事例作为 τ 对事例产生的标志,即 $e^+e^- \rightarrow \tau\tau(\tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}, \tau \rightarrow \mu\nu\bar{\nu})$ 。对阈值附近 τ 对产生截面进行最大似然函数拟合,得到 τ 轻子质量测量值的初步结果为 $M_\tau = 1776.9 \pm 0.4 \pm 0.3 \text{ MeV}$ 。(编者按:据《现代物理知识》杂志1992年5期薛生田文章和《高能物理与核物理》杂志1993年1期更正称:“ τ 轻子的质量为

$$1776.9^{+0.4}_{-0.3} \pm 0.2 \text{ MeV}”)$$

据介绍, τ 轻子是第三代有质量的轻子,也是唯一有大量衰变道的轻子。 τ 轻子可以有轻子衰变和强子衰变,其中有很多都可以用标准模型作高精度的计算,因而被认为最有希望由此得到新物理的信息。另外, τ 轻子的质量较大,和其他两种轻子(电子和 μ 子)相比,对新物理可能会更加灵敏,但目前对 τ 质量实验测量精度仅为 10^{-3} 量级,其世界平均值

$$m_\tau = 1784.1^{+0.4}_{-0.3} \text{ MeV}$$

比电子和 μ 子质量的测量精度差得多。

郁忠强认为 τ 质量测量的意义在于:首先是因为它关系到标准模型对轻子普适性的检验。从目前知道

据。另一方面,球粒状陨石元素丰度测定表明,铂的丰度比邻近元素的丰度都高出数倍,铂-202的新数据会不会给太阳系元素丰度的研究提供一点依据呢?当铂原子核中中子数再继续增加时,对铂同位素长链进行系统研究将会提供更加丰富的知识,这也是我们要努力达到的目标。

的 τ_μ (μ 子寿命)、 m_μ (μ 子质量)和 m_τ (τ 轻子质量)的关系图可知, τ 轻子的质量、 τ 轻子的寿命和它的衰变分支比三者之间的实验结果,和标准模型的预言相比出现 $\sim 2\sigma$ 水平的不相容。这种不相容,可能是由实验测量的误差引起的。因此要求对上述三个物理量作更精确的测量。另外, τ 质量的精确测量还有助于 τ 中微子的研究。目前的实验技术给出中微子质量的上限 $m_{\nu_\tau} < 35 \text{ MeV}$ (95%置信度),此结果在很大程度上依赖于 τ 质量的测量精度。所以, τ 轻子质量的精确测量能降低 τ 中微子质量的上限,这对 τ 中微子的研究将有很大的意义。

据报告介绍,由中国科学院高能物理研究所、Boston大学、加州理工学院、Colorado大学、麻省理工学院、SLAC、加州大学Irvine分校、Texas大学、Washington大学组成的BES合作组,首次采用在 τ 对产生阈值附近扫描的方法测量 τ 轻子的质量,可以达到较高的精度。实验是在北京正负电子对撞机上完成,共采集了10个能量点的数据,能量扫描范围是 $3.544 < E_{cm} < 3.569 \text{ GeV}$,总的积分亮度达 4316 nb^{-1} 。选择 τ 对衰变中比较“干净”的衰变道作为选择 τ 对事例产生的标志,即选择 $e^+e^- \rightarrow \tau\tau, \tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}, \tau \rightarrow \mu\nu\bar{\nu}$ 。在选择扫描能量点和计算 τ 轻子质量时采用似然函数拟合方法。

(编者按:北京谱仪测量 τ 轻子质量的成功,标志中国物理学家能在物理前沿的研究中作出国际领先的工作。由何祚庥、邝宇平、王淦昌等人组成的“强物理和 τ 轻子物理”国家重大科研项目评审组认为:“北京谱仪现在做出的一些初步实验结果已受到国际同行的重视。”著名物理学家李政道认为:中国高能物理学家前不久对 τ 粒子的测量,是近两年来在粒子物理方面的最大的重要发现。这一发现是用北京正负电子对撞机和北京谱仪做出来的。国家科委、人民日报、光明日