

北京放射性核束装置开展首次实验：发现钠20原子核存在奇异新衰变模式

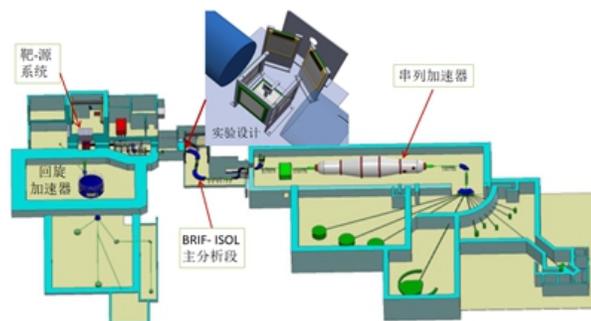
发表时间：2021-02-03 09:23:23

近日，原子能院核物理所核天体物理创新团队依托北京放射性核束装置BRIF（Beijing Radioactive Ion-beam Facility），首次发现 ^{20}Na 原子核存在奇异 $\beta-\gamma-\alpha$ 衰变新模式。1月29日，该研究结果被国际核物理领域著名学术期刊 Physical Review C（《物理评论C》）以快报形式在线发表。这是BRIF建成后获得的首个核物理基础研究成果，合作单位包括北京师范大学、北京大学、美国密歇根州立大学、中山大学、南华大学。文章第一作者为原子能院王友宝研究员，通讯作者为原子能院王友宝、柳卫平研究员及北京师范大学苏俊教授、美国密歇根州立大学B. A. Brown教授。

自然界中存在着许多对称性，每种对称性都对应一个守恒定律。例如空间平移对称性对应动量守恒，而空间转动对称性则对应角动量守恒。对称性原理是自然界的普遍法则，也是物理学的灵魂所在。同位旋是微观粒子的基本性质之一，构成原子核的质子和中子具有近似的质量，在只考虑强相互作用时可以看成一种粒子，这就是著名的同位旋守恒定律。

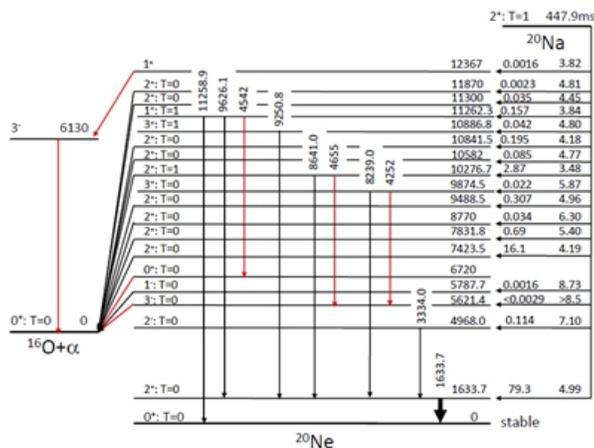
^{20}Na 的 β 衰变可以用来检验同位旋对称性。 ^{20}Na 的半衰期为0.448秒，衰变能13.887MeV，基态的自旋宇称为 2^+ ，同位旋 $T=1$ 。 ^{20}Na 主要通过Fermi或G-T跃迁衰变到 ^{20}Ne $T=0$ 或1的 1^+ 、 2^+ 和 3^+ 态。根据同位旋守恒定律，只有 $T=0$ 的 ^{20}Ne 共振态才能通过发射 α 粒子退激到 ^{16}O 的基态； $T=1$ 的 ^{20}Ne 1^+ 、 2^+ 和 3^+ 态，尽管远高于 α 粒子分离阈，只能通过发射 γ 射线退激，这意味着 ^{20}Na 可能存在 $\beta-\gamma-\alpha$ 奇异衰变模式，即 γ 跃迁为随后的 α 发射充当桥梁作用。这种奇异的衰变模式虽然极其稀有，却是检验同位旋守恒的灵敏探针。

作为BRIF建成后的首个在线物理实验，核天体物理团队与串列升级工程回旋加速器团队、在线同位素分离器技术团队高度协作，前后经过4次实验完成了 ^{20}Na 的 β 衰变测量。实验中 ^{20}Na 的平均流强达到15000粒子/秒。基于对 ^{20}Na 衰变发射的 β 、 γ 、 α 射线的高效率同时测量，实现了 $\gamma-\gamma$ 、 $\alpha-\gamma$ 符合谱学。



BRIF平面图

经过细致分析，发现了 ^{20}Na 的3个 $\beta-\gamma-\alpha$ 奇异衰变序列，和1个 $\beta-\alpha-\gamma$ 衰变序列。每个奇异衰变序列在 ^{20}Na 衰变中占比只有十万分之二左右，是极其稀有事件。此项研究应用新建的衰变终端，首次发现了这些奇异衰变序列，验证了同位旋守恒的可靠性；还对导致同位旋对称性破缺的微观机制，即同位旋混杂现象进行了理论计算，得到了不同同位旋能级发生混杂的矩阵元的值。 $\beta-\gamma-\alpha$ 奇异衰变模式成为衰变家族的新成员，必将在短寿命放射性核衰变中受到越来越多的重视。此外，该发现也为在BRIF装置上进行强流放射性核衰变实验拓展了全新的研究方向。



^{20}Na 的衰变纲图

该工作得到了科技部国家重点研发计划、国家自然科学基金委科学仪器专项、国家自然科学基金委和中核集团核技术创新联合基金、财政部稳定支持研究经费等项目支持。(文/王友宝)