

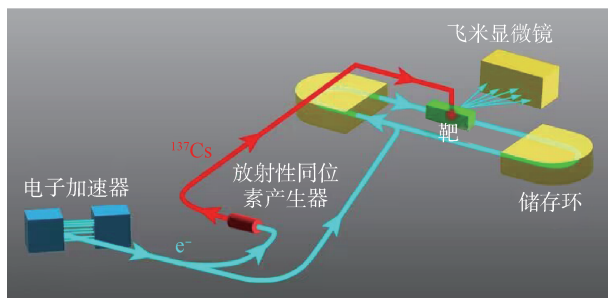
# 不稳定核结构研究的新方法

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Patrick Achenbach. *Physics*, August 30, 2023)

不稳定放射性同位素的首次电子散射实验标志着奇特原子核形状研究的里程碑。

自从 Robert Hofstadter 及其合作者在 20 世纪 50 年代的测量工作以来，人们已经知道，原子核不是点状粒子，而是具有飞米尺度的有限大小——大约比原子半径小 10000 倍。这项获得诺贝尔奖的研究使用加速器产生的高能电子束轰击靶材料，并检测电子被偏转的方向，揭示出核的内部结构和确切的空间电荷分布。在日本 RIKEN Nishina 加速器科学中心的研究人员首次观测到放射性同位素的这种非自然发生的电子散射。物理学家们通过不断改进加速器技术以及产生和捕获离子的新方法，得到了期待已久的结果。他们的成功标志着预期的“飞米显微镜”的实现，它可以给出核素图中至今不能达到的区域里的原子核图像。

该团队利用了一种通常用于光学分析技术的现象。当激光通过一个小孔时产生衍射花纹：在束流轴线上出现明亮的圆盘，周围是一系列强度逐渐减弱的同心圆。小孔的大小和形状决定了角分布的细节。



一块碳化铀产生的放射性铯-137被注入到电子储存环中的固定位置，使用高能电子轰击铯-137。电子在铯-137靶上散射并用磁谱仪(飞米显微镜)记录，由此重构铯核的特性

量子力学告诉我们，在原子核的尺度上，电子束可以看作是波。类似于光学，我们可以根据被样品偏转的电子的衍射图推断所研究物体的空间分布。高能电子散射可由熟知的相互作用描述：作用在带电物体上的电磁力。因而，当入射电子能量在几百兆电子伏时，原子核的内部电荷分布的分辨率可达几飞米。

这种技术已经被应用于许多稳定核以及几种长寿命的放射性同位素的研究。这些都是在核素图中“稳定谷”的核。物理学家的探索还不能超出稳定谷，预期超出后出现的电荷分布具有非常特殊的形状。困难在于要得到一个衍射图需要将足够数量的短寿命核禁闭在靶的体积内。

RIKEN Nishina 中心放射性同位素束流工厂的下一代重离子加速器装置，可人工产生在自然界不存在的放射性同位素。RIKEN 团队用来自另外一台加速器产生的高能电子轰击一块碳化铀，产生了铯-137 放射性离子束，纯度接近 100%。产生

衍射图形的电子在附近的存储环内循环运动。虽然新产生的离子可以容易地输送到这个环中，但还需聚集起来才能达到足够的碰撞亮度。

研究人员为捕获在循环电子

束中的离子已经工作了很多年。这种技术的主要进展在于使用循环电子的电力将离子推到中心轴。另一静电势同时作用于离子以防止离子离开轴线，作用类似于一对电磁光学镜。用这种方法使限制住的离子形成一个静止的靶。RIKEN 团队演示了世界上首次使用这种装置来研究稳定核靶，只使用少量的 1 千万个离子便达到了足够高的亮度。该团队最近的实验展示了在线产生的铯-137 放射性核靶的研究结果。

研究人员使用磁谱仪探测散射电子，得到电子的角分布，换言之，得到衍射图形。使用电子作为电磁探针的优点是电子与核的相互作用可用量子电动力学理论精确地描述。这意味着核结构信息可以直接从衍射数据中提取，无需对将核束缚在一起的强力进行修正。在实验探测的能量范围内，来自非弹性散射和核的磁性对散射图形的贡献很小，可以忽略，使分析得到进一步简化。

分析结果并不令人惊奇：该团队的观测与原子核铯-137 的电荷密度一致，在中心区电荷密度接近常数，而在中心区以外，电荷密度在相对较大的范围内衰减。未来这种技术可以用于探测远离稳定谷的核，预期这些核具有更特殊的结构，如伸长的或扁平的球形结构，或轴不对称的核子分布。这些研究不仅将深化我们对于核结构的认识，还将促进对天体物理中关于核合成的了解。