
近代物理所高电荷态离子双电子复合精密谱研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/12329.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

宇宙中95%以上的可见物质都处于等离子体状态，在恒星、超新星遗迹、星系、行星状星云、X射线双星和活动星系核等研究中均涉及等离子体原子物理过程。随着X-ray天文望远镜的发展，近十几年来，人们利用太空天文台的观测数据结合理论模型可以得到天体等离子体的密度、温度、元素丰度、电离平衡及电子速度分布等关键信息，从而能够深入理解天体形成及演化规律。电子-离子复合是等离子体环境中重要的碰撞反应之一，精确的电子-离子复合速率系数是天体物理和聚变等离子体建模最基本的输入参数之一。双电子复合过程伴随的退激辐射往往可以作为诊断等离子体中电子温度、密度的有效探针。同时，由于双电子复合是一个共振过程，共振峰结构中包含了离子的能级结构信息，通过精密的双电子复合速率系数的测量，可以解析出靶态离子激发态能级结构，进而开展如QED检验、同位素移动测量、超精细诱导跃迁寿命测量等系列基础前沿研究。

重离子储存环结合电子冷却装置为开展高电荷态离子双电子复合精密谱学实验研究提供了较好的实验平台。基于重离子储存环开展的电子离子复合精密谱学实验具有较高的能量分辨，且其电子-离子相对能量可大范围精密调制，是唯一能够精确测量低能碰撞复合截面关键数据的实验方法，尤其在相对碰撞能量较低的范围，储存环双电子复合实验具有独特优势。近几年，基于储存环DR精密谱学研究发现，对于具有复杂结构的离子，过去的理论方法无法给出可信的DR速率系数，很多计算结果甚至比实验低两个数量级。

近日，中国科学院近代物理研究所科研人员联合中国科学技术大学、复旦大学、英国思克莱德大学等

单位的科

研人员，基于兰州

重离子加速器冷却储存环HIRFL-

CSRm，开展了类碳钙离子 $^{40}\text{Ca}^{4+}$ 和类纳氪离子 $^{86}\text{Kr}^{25+}$

的双电子复合精密谱学实验，获得了质心系碰撞能量为0-90

eV范围内的电子离子复合绝对速率系数，并将实验结果与最新的理论Flexible Atomic Code (FAC)

和AUTOSTRUCTURE计算的结果仔细对比，解析出每个共振结构的来源。同时，从双电子复合速率系数得到了可用于等离子体建模的等离子体速率系数，并与此前的理论数据作了对比研究。

如图1所示，对于 Ca^{4+}

离子，发现之前用于理论建模的光电离等离子体温度区间的速率系数计算结果比本次实验结果小两个数量级。如图2所示，对于 Kr^{25+}

离子，发现电子关联在DR低能段具有重要的贡献，理论计算必须考虑混合能级的强耦合效应。

实验获得的DR精密谱可用于研究高电荷态离子的能级结构从而检验各种原子物理结构计算的理论方法，并可为天体和聚变等离子体诊断和建模提供高精度的基本输入参数。相关研究成果发表在 [The Astrophysical Journal](#) (ApJ 905 (2020) 36) 和 [Physical Review A](#) (Phys. Rev. A 102 (2020) 062823) 上。研究工作得到科学技术部重点研发计划、国家自然科学基金项目、中科院战略性先导科技专项 (B类)、中科院前沿科学重点研究计划项目，以及中科院青年创新促进会的支持。

图2.类钠 Kr^{25+} 离子的双电子复合精密谱和等离子速率系数。(左图)为0-15 eV范围内复合速率系数谱，黑色实线为实验测量结果，红色虚线和蓝色点线分别为FAC和AUTOSTRUCTURE理论计算结果，蓝色阴影代表 $n=1$ 的跃迁贡献，竖线为理论计算各共振态结构。(右图)为等离子体速率系数，黑实线为实验结果，其他数据为理论计算结果。

研究团队单位：近代物理研究所

更多科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](#)转发