科学家研制出不确定度4.4E-19的液氮低温钙离子光钟

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/38304.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！

科学家研制出不确定度4.4E-19的液氮低温钙离子光钟。

光钟利用原子或离子的稳定能级跃迁作为频率参考，是迄今人类能够实现精度最高的时间计量装置。其系统不确定度直接决定了未来时间频率基准的准确性和可靠性。在众多光钟体系中，钙离子能级结构相对简单，且存在“ 魔幻囚禁频率 ”。然而，将这些理论优势真正转化为工程化的极限性能，仍需攻克黑体辐射频移与离子热运动（宏运动）精密控制等关键技术挑战。

近日，中国科学院精密测量科学与技术创新研究院研究团队研制的第二代液氮低温钙离子光钟的总系统，不确定度达4.4E-19，相当于连续运行约720亿年误差不超过1秒，是目前报道的不确定度指标最高的光钟。
这一指标的达成，验证了液氮低温技术路线的可行性和优越性，为光钟发展提供了新的技术范式。

研究团队创新性地发展了液氮低温技术路线。与室温环境相比，该路线将离子运行环境降低至液氮温区（约80K），理论上可使黑体辐射强度降低约200倍，从本质上降低了黑体辐射频移。在前期成功实现3E-18不确定度的基础上，团队在第二代系统中实现了性能提升。

在热控制方面，团队对光钟的机械结构、热连接方案和温度监测体系进行了精密设计，通过采用高导热材料、优化热平衡路径、构建热学复刻装置进行原位比对测量，将离子微环境的温度评估为79.5±1.5K，使黑体辐射频移不确定度降至3.5E-19。在热运动控制方面，团队实现了三维边带冷却技术，将离子冷却至接近运动基态，结合低温环境下明显抑制的电场噪声（加热率低于1.3声子数/秒），将二阶多普勒频移不确定度降低至4E-20。在磁场控制方面，团队通过高精度光钟频率比对，测得二阶塞曼系数，结合精确磁场控制，将相关不确定度控制在5E-20。

研究团队进一步通过多技术手段，协同实现了对其他系统误差的抑制和评估。团队采用“魔幻囚禁频率”抑制微运动效应，采用Hyper Ramsey光谱技术消除激光频移和AOM啁啾频移，交替探测多对塞曼跃迁抵消电四极频移，并运用最新量子散射理论评估背景气体碰撞影响。

该研究成果标志着钙离子光钟的不确定度指标进入E-19量级。在基础研究领域，更高精度的光钟将提升对基本物理定律检验的灵敏度，为探索超越标准模型的新物理提供更精确的工具。在计量应用方面，该研究为基于光钟重新定义国
际单位制“秒
”提供了技术支撑。在工程应用层面，这一突破为发展下一代重力测量、精密导航定位等领域提供了核心频率基准。

相关研究成果发表在《物理评论快报》（*Physical Review Letters*）上。研究工作得到国家自然科学基金委员会、科学技术部、中国科学院等的支持。

论文链接

液氮低温钙离子光钟

研究团队单位：精密测量科学与技术创新研究院

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