
科学家研制出不确定度达E-18量级的室温钙离子光钟

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/23579.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达E-18量级的室温钙离子光钟。近日，中国科学院精密测量科学与技术创新研究院高克林、管桦研究团队研制出不确定度达 4.8×10^{-18} 的室温钙离子光钟，为下一步实现10-18量级的可搬运钙离子光钟打下了坚实基础。相关研究成果发表在《物理评论应用》(Physical Review Applied)上。

实现高精度的可搬运光钟是实现光钟应用的关键和必要条件。国际计量局于2017年提出了参考光钟重新定义秒的路线图，其中一项条件是不同光钟间的频率比值的吻合度优于 5×10^{-18} ，将高精度光钟搬运到各个实验室进行频率比对是重要的方法之一。在相对论大地测量学应用方面， 1×10^{-18} 的光钟不确定度对应于约1厘米的高程差，利用不确定度达到或优于10-18量级的光钟进行比对有望实现厘米级或亚厘米级的高程差测量，为高程测量提供新的方案。同时，可搬运光钟应用于新一代综合PNT体系建设中，可显著提高体系的综合性能指标。

研究团队此前研制出一台不确定度 1.3×10^{-17} 的可搬运钙离子光钟，并搬运到中国计量科学研究院北京昌平院区，实现了10-16量级的钙离子光钟绝对频率测量。在2021年3月19日召开的第22届CCTF会议上，该团队测量的钙离子光钟绝对频率值第四次被采纳。2022年4月13日，国际计量局正式采纳钙离子光频跃迁为新增的次级秒定义参考。

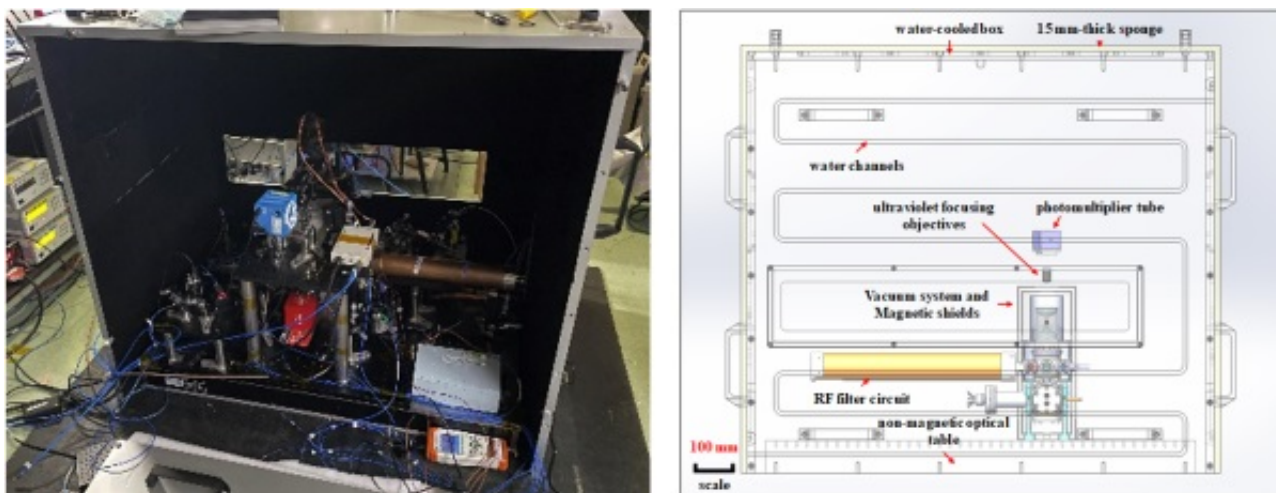
限制钙离子光钟不确定度进入10-18的主要因素为黑体辐射频移不确定度(BBR shift uncertainty)。黑体辐射频移与选择的光钟体系(原子频率跃迁的极化率差)相关，同时与环境温度的4次方成正比，对温度非常敏感——离子所处的环境温度以及温度的涨落相关。由此对温度效应的抑制，实验上可以采用两种方法——直接降低离子所处环境温度、减小离子所处环境的温度变化。这两种方案分别适用于实验室型光钟和对鲁棒性要求更高的可搬运光钟。该团队此前通过采用液氮低温系统将离子所处的环境温度从室温(约300 K)降至液氮温度(约80 K)，降低了钙离子光钟的黑体辐射频移及不确定度。经过努力，研究最终将液氮低温钙离子光钟的黑体辐射频移不确定度降低至 2.7×10^{-18} 。

本研究为实现可搬运，从减小离子所处环境的温度变化出发，搭建了一台全新的室温钙离子光钟，通过水冷系统对该光钟的物理系统进行主动控温，将光钟运行过程中的环境温度不确定度减小至 ± 0.3 °C。同时，研究采用有限元分析计算了离子阱各组件对钙离子的有效立体角，并结合真空内的测温探头和红外相机监测和评估了离子阱各组件的平均温度，最终将该室温钙离子光钟的黑体辐射频移不确定度减小至 4.6×10^{-18} 。同时，通过对钙离子光钟的其余系统误差项进行细致评估，该钙离子光钟的总系统不确定度为 4.8×10^{-18} 。在此基础上，该工作通过进行新搭建的室温钙离子光钟和实验室已有的低温钙离子光钟的频率比对，获得的总的不确定度为 7.5×10^{-18} (统计不确定度为 4.9×10^{-18} ，系统不确定度为 5.7×10^{-18})。该结果验证了黑体辐射频移评估的可

靠性。

随着钙离子光钟不确定度指标的不断提高，同时结合钙离子光钟相对简单的特点，可研制成小型化、准连续和高可靠性的高精度可搬运光钟，并将在精密测量物理、时间基准、相对论大地测量、导航定位等方面得到广泛应用。

研究工作得到科学技术部、国家自然科学基金委员会和中国科学院支持。(来源：中国科学院精密测量科学与技术创新研究院)



主动温度控制的室温钙离子光钟。左：室温钙离子光钟;右：基于水冷系统的主动温度控制。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.19.064004>

作者：高克林等 来源：《物理评论应用》

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](http://www.iikx.com)转发