

精密测量院钙离子光频标跃迁频率进入国际次级秒定义

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/18853.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！

4月14日，国际计量局网站更新了次级秒定义的候选光频标，钙离子光频标首次入选。2021年3月19日，国际计量局时间频率咨询委员会第四次采纳了中国科学院精密测量科学与技术创新研究院高克林研究团队研发的钙离子光频标的测量结果，并推荐钙离子光频标测量结果新增为次级秒定义。

时间与人类活动息息相关，是国际单位制七个基本物理量中测量精度最高（测量有效位数最多）的物理量，许多其他物理量的测量都可以转换为对时间的测量，以提高测量精度。秒是时间的基本单位。1955年，世界第一台铯原子钟诞生。人们意识到通过准确的研究和控制外界环境影响，基于微观量子跃迁的时间频率标准不易受到外界的干扰，是秒定义的稳定参考源。1961年，国际计量委员会提议采用铯原子基态跃迁作为秒定义的候选，1967年，国际计量大会通过了基于铯原子跃迁的新的秒定义，即秒是铯133原子基态两个超精细能级之间跃迁对应辐射的9192631770个周期所持续的时间。随着光频标的快速发展，其精度远超越铯原子钟的精度，采用光频标测量的原子跃迁频率作为新的国际秒定义成为趋势。第21届国际计量局国际时间频率咨询委员会会议（2017年6月8日至9日）提出了国际秒定义修改路线图（三种方案：基于单种原子光频跃迁频率、多种原子光频跃迁频率的加权平均以及更基本的物理常数）。光频标成为秒定义候选需满足两个必要条件：一是光频标的光频测量值的精度与现有秒定义相当，并被CCTF认定为次级秒定义标准。二是进入次级秒定义的光频标的不确定度及稳定度应达 10^{-18} 量级；光频标间比率测量精度应在 10^{-18} 量级。

在理想条件下，原子/离子内在能级跃迁频率是自然界中最稳定的。各种外场（如电场、磁场和温度场等）均会影响原子/离子的状态，导致原子跃迁频率发生变化。实现不确定度和稳定度达到 10^{-18}

量级的光频标，需要实现对原子/离子运动状态的精确控制、抑制各种外场干扰，并进行精准地测量。同其他光频标体系相比，钙离子的能级结构相对简单，实验所需的激光均可由固体激光器产生，而对环境温度和磁场非常敏感。

高克林研究团队自2000年开展钙离子光频标的研究，致力于发展高精度光频标，开展高精度光频测量，力争进入国际次级秒定义，提升我国在国际时间频率标准领域的影响力。

科研团队实现了单个钙离子的囚禁和冷却（2005年），实现了中国首台光频标（2011年）。研究基于 10^{-16}

光频标系统开展了钙离子钟跃迁光频绝对频率的精密测量：在没有本地基准钟的条件下，采用基

于GPS远程溯源的高精度光频绝对值测量方案，首次用GPS载波相位观测的精密单点定位解算进行时间频率传递，实现了 10^{-15} 量级精度的钙离子光频标绝对频率测量【Phys. Rev. A 85, 030503(R) (2012)】，其结果首次被CCTF采纳（CCTF19-2012）。钙离子光频跃迁推荐值有了中国人的贡献；2015年，研究实现了精度到达 10^{-17} 量级的钙离子光频标【Phys. Rev. Lett. 116, 013001 (2016)】。研究基于GPS远程溯源实现了钙离子钟跃迁光频绝对频率的精密测量：其结果连续两次被CCTF采纳（CCTF20-2015、CCTF21-2017），中国的测量结果的权重逐渐增加，钙离子光频跃迁推荐值被不断更新，精度也不断提高。

2020年，
研究团队研制出一
台可搬运钙离子光钟，运行率高于75
%，系统不确定度达 10^{-17}
量级。实现了千公里级的车载搬运。精密测量院同中国计量院合作，基于可搬运钙离子光钟，在中国计量院直接利用溯源至UTC的UTC（NIM），经GNSS远程传递与飞轮钟远程比对，首次在国际上将钙离子钟跃迁绝对频率的测量不确定度推进至 10^{-16} 量级【Phys. Rev. A 102, 050802(R) (2020)】。

经过努力，钙离子光频标跃迁频率入选国际计量局次级秒定义的候选光频标，这是中国迄今第一次推动一种新的原子跃迁频率成为国际次级秒定义，提升了我国在原子频标领域的国际影响力。

[论文链接](#)

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