

光晶格钟为守时设立新标准

(中国计量科学研究院 方占军、楚颖 编译自 Ashley G. Smart.
Physics Today, 2014, (3): 12, 原文详见 <http://ptonline.aip.org>)

这类钟的优势在于使用的原子数量；它不是按照单个原子的节奏嘀嗒走针，而是同时与几千个原子同步。

从1955年原子钟出现至今，量子时间计量的准则一直没有改变：将原子与外场隔离，调谐相干辐射源频率到原子跃迁，并通过通过对辐射振荡周期的计数来测量时间。

2001年，NIST的研究人员研制成一台基于激光冷却单个汞离子深紫外频段跃迁的原子光钟。今天的原子钟测量时间能够达到 1×10^{-17} ，已经足够精妙到可以探测小于1 m的海拔高度改变带来的引力变化从而导致的细微时间变慢。现在，叶军领导的研究小组(JILA, 博尔德, 科罗拉多州)成功研制了一台光晶格钟，其性能超过了目前最好的单离子光钟。这一新时钟如果连续运行约50亿年，比地球的年龄还要长的时间，也不会差1秒钟。

波长魔术

对于单离子光钟，每次测量只使用一个原子。2003年，Hidetoshi Katori(日本东京大学)与他的合作者们提出了一种新方案：几千个原子被激光冷却并装入光晶格——每个原子被隔离在一个分离的势阱中——然后被同时探测。不同于离子阱，光晶格必然会干扰所囚禁的原子内部能态。针对这一问题，Katori和其他研究人员(包括叶军和加州理工大学的Jeffrey Kimble)又提出了一个聪明的变通方案：他们展示了如何将晶格光调谐到一个特定的“魔术”波长，此时，钟跃迁所涉及的两个原子能态被精确地偏移相同的能量。

导的一个NIST研究组在一项深入实验中运行了两台镱原子光晶格钟，目的是考察阿伦偏差会下降到多么低。他们的数据，在图1中用红色表示，显示经过7小时平均镱光钟的阿伦偏差达到 1.6×10^{-18} ——任何类型时钟的最低纪录。

准确度

稳定度不能保证准确度——即使一台保持始终如一时间的时钟，也不一定保持着正确的时间。光晶格钟系统误差的最大来源是黑体辐射频移。为了阐明黑体辐射频移，叶军和他的同事为他们的时钟配备了一个可伸缩的温度探头，它能够延伸到原子云团的位置及其附近，从而测量辐射场的等效温度。叶军和他的同事们估计了黑体辐射的幅值，不确定度达到 4.1×10^{-18} 。这台光钟的总系统不确定度达到 6.4×10^{-18} 。前一个由单离子光钟保持的纪录是 8.6×10^{-18} 。

稳定度

一个好时钟应该是稳定的——时钟嘀嗒走针持续的时间不应该随时间改变。对于单离子光钟，阿伦偏差要达到 1×10^{-16} 需要几分钟的平均。光晶格钟用几秒钟的时间就能够达到同样的水平，因为它们同时测量几千个原子。去年秋天，Andrew Ludlow 领

叶军认为光晶格钟能够最终实现优于 1×10^{-18} 的系统不确定度。在这一水平上，原子时钟将能够对物理常数的可变性进行严格验证。通过比较铝离子和汞离子光钟在一年时间内的嘀嗒走针速率，由James Bergquist领导的NIST研究组已经为精细结构常数 α 的年变化设定了 1×10^{-17} 的上限。光晶格钟之间的比对可能进一步降低这个上限。

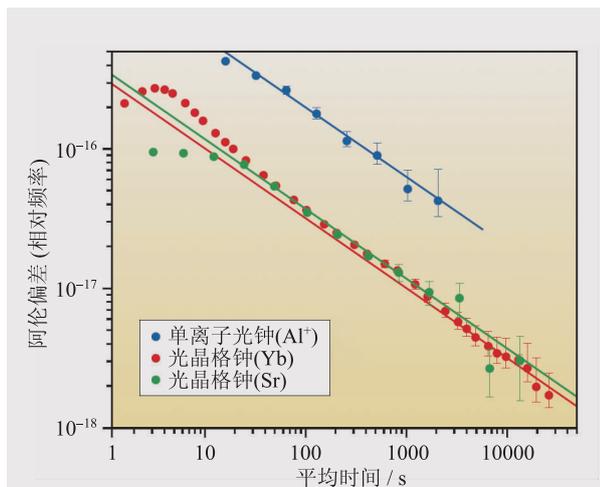


图1 铝单离子光钟(蓝色)、镱原子光晶格钟(红色)和锶原子光晶格钟(绿色)的阿伦偏差相对于测量时间的曲线