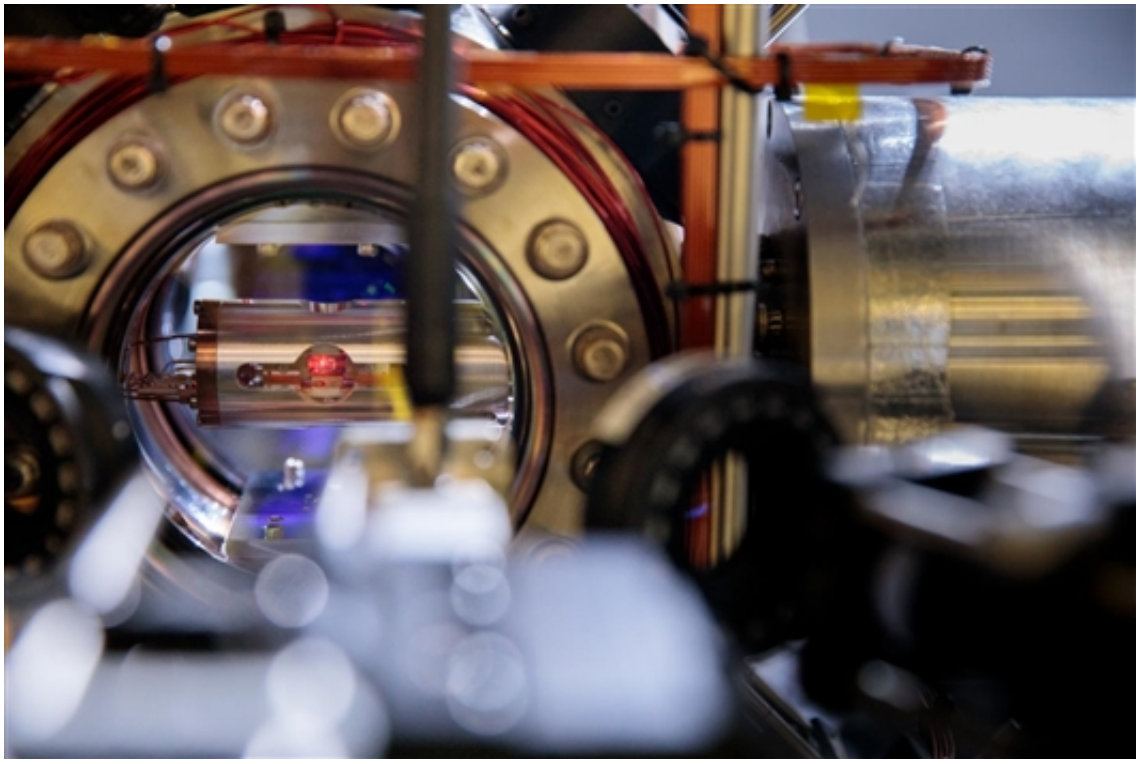
研究首次对比3个顶级原子钟精度

作者：writer 来源：爱科学

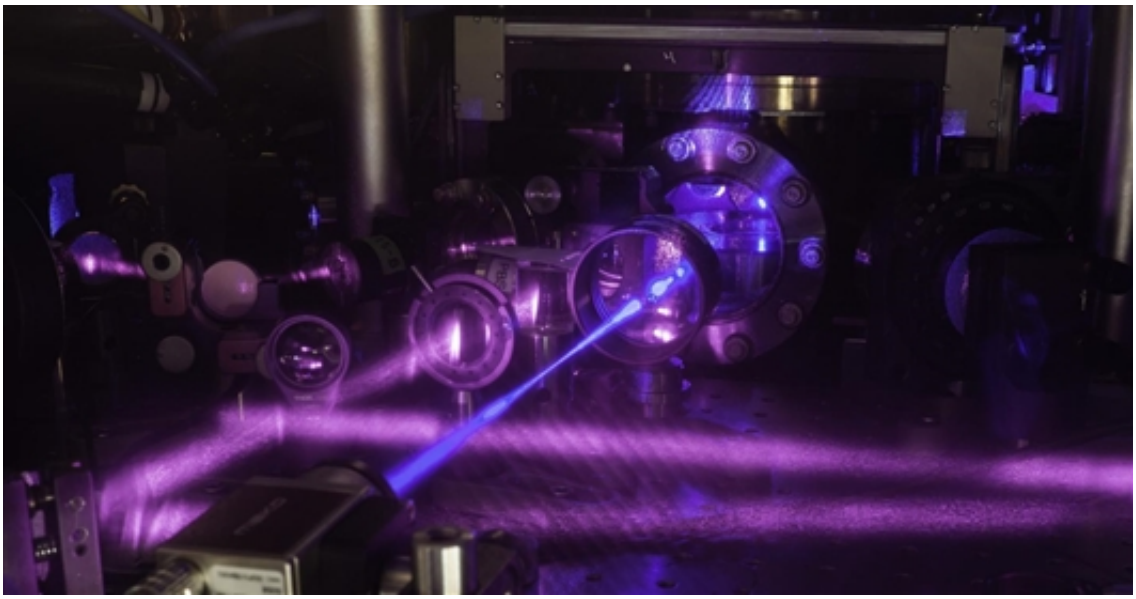
本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/13203.html

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！

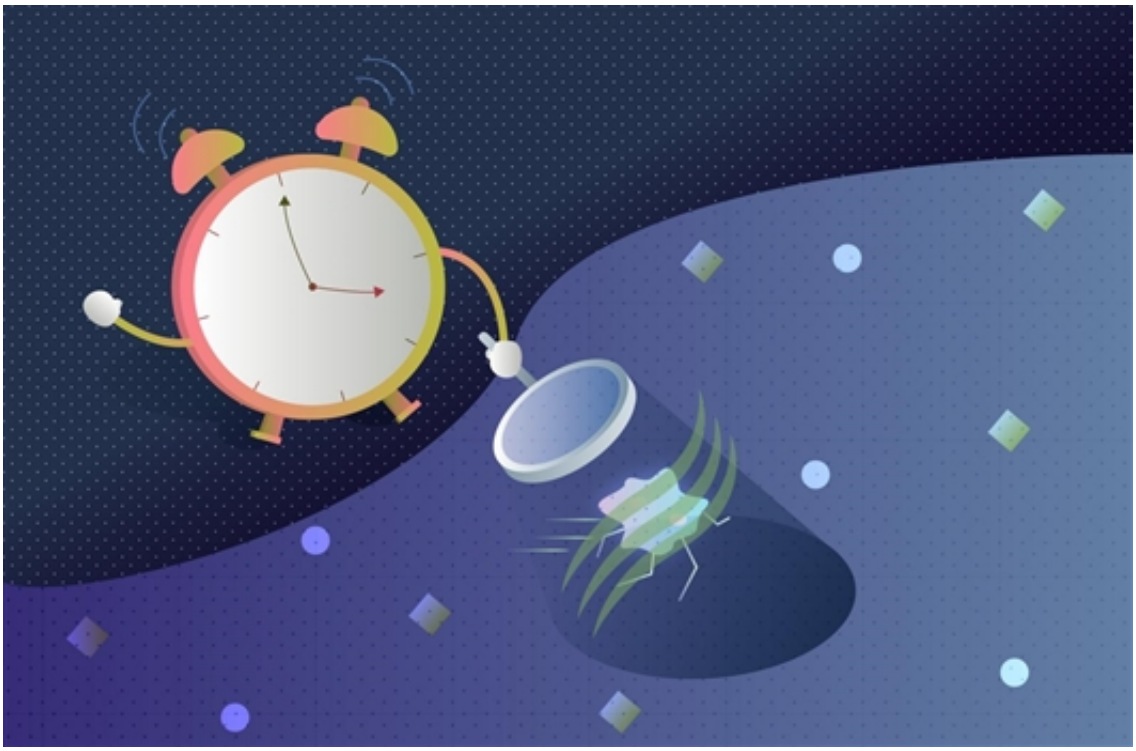
研究首次对比3个顶级原子钟精度。



原子钟的心脏 图片来源：新加坡国立大学



三维量子气体原子钟 图片来源：G.E. Marti/JILA



用原子钟寻找暗物质 图片来源：Hanacek/NIST

滴答。对很多人而言，呼吸间就是1秒；或在表盘上，秒针走一步，就是1秒。

但在科学上，秒的精度远不止于此。

近日，美国国家标准与技术研究所（NIST）领导的一个研究小组通过空气和光纤链路，以迄今最高的准确度比较了基于铝、锶、镱的3种原子钟。研究结果朝着更精准复现秒定义的目标迈出了重要一步。

这项工作是首次比较3个基于不同原子的时钟，也是第一次将不同位置的原子钟隔空相连。3月25日，相关论文刊登于《自然》。

这些发现向秒的重新定义更近了一步，并有助于寻找暗物质——宇宙中难以捉摸的组成部分。未参与该研究的英国特丁顿国家物理实验室的Rachel Godun在同期发表的观点文章中写道。

什么是秒

远古时代，人们对时间的参照来源于太阳。日出而作日落而息，地球自转为人们提供了时间判断标准，这种时标被称为平太阳时，也叫世界时。

慢慢地，人们开始对时间进一步细分，秒出现了。最初，人们先借助天文观测得到地球自转的平均周期（即日长），然后细分成86400份，进而得到秒长。这也是天文秒。

20世纪20年代，天文学家发现，由于地球上的季节性气流和洋流的运动，地球自转有周期性变化。于是，人们开始提出新的计时方法——原子时。1948年，英国制造出世界上第一台原子钟。

原子钟就是以原子中电子的振动为振子的时钟，其中以光波段的电子振动为振子的时钟称为光钟。光晶格钟是光钟的一种。原子钟的准确度使其成为了计时和其他精确测量的绝佳工具。这是因为原子会在特定频率发射和吸收光子，这个过程基本不受环境因素的干扰。

1967年，国际计量大会决定用原子秒取代天文秒，秒长定义是碱金属铯133同位素基态两个超精细能级之间跃迁辐射的9192631770个周期所持续的时间间隔。1958年1月1日零时零分零秒成为原子时的计时起点，并与世界时重合。

1972年，实验室型铯原子基准钟正式成为复现秒定义的手段。

此前，科学家曾演示过频率准确度达小数点后18位的原子钟，超过了目前用于定义秒的铯原子钟。不过，为了获得更准确的秒定义，就必须对这些原子钟进行比较。迄今为止，使用不同种类原子的钟，频率比值的最高测量准确度能把测量不确定度降到小数点后17位。

我们需要对这些光学钟进行测试，以确认它们的工作精度达到了我们评估的水平。当我们致力于最终基于光学时钟重新定义国际原子钟时，同样的频率比可以由世界各地的其他团体测量。该研究通讯作者、NIST物理学家David Hume在接受《中国科学报》采访时说。

部署天罗地网

Hume和同事部署了一个3种原子钟组成的网络。这些原子钟分别被放置在科罗拉多州博尔德市各个地点的大楼里，并比较了它们在2017年11月至2018年6月期间各自的频率比值。

这些原子钟是NIST不同实验室的铝离子时钟和镱晶格时钟，以及位于1.5公里外JILA的锶晶格时钟（JILA是NIST和科罗拉多大学的联合研究所）。

Godun告诉记者，世界上最好的光学钟正是包括NIST的铝离子和镱时钟，以及JILA的锶时钟。所有3个时钟的测量频率估计误差在1018分之2或更好。

但测量工作面临着前所未有的挑战：因为这3个原子钟以截然不同的频率滴答，因此所有的网络组件都必须以极高的精度运行，无线连接也需要尖端的激光技术和设计。

所有这些时钟都经过了多年的不断改进和评估。建立原子钟网络面临的主要挑战之一，是将原子钟组合在一起，并让它们同时以高准确度运行。为了使测量成为可能，我们采用了三个光学时钟，许多相位稳定的光链路（包括一个自由空间的光链路）和飞秒频率光梳。Hume说。

其中，空中光链路的关键是光梳的使用，后者可以精确地比较不同的频率。研究人员开发了双向传输方法，即使在大气湍流和实验室振动的条件下，也可以在空中精确地比较光学时钟。该研究也是第一次用基于梳状结构的信号传输技术比较最先进的原子钟。

自1967年以来，秒的定义基于铯原子在微波频率下的跳动。新研究中使用的原子钟以更高的光学频率滴答作响，这种频率将时间分成了更小的单位，从而提供了更高的精度。

精确到小数点后18位

该研究比较获得的测量精度范围可以达到小数点后18位，这是频率比值不确定度首次小于小数点后17位。

具体而言，光纤和空中无线链路的不确定度都只有1018分之6到8，也就是说，误差没有超过 0.00 0000000000000008。而且，所有3类原子钟都具有卓越的性能，并有望进一步改进。例如，NIST的镱原子钟代表了原子的固有频率，误差可能在1018分之1.4以内。

研究人员还描述了如何通过空中链路在镱时钟和锶时钟之间传输时间信号，他们发现这个过程的工作效率与光纤一样好，比传统的无线传输方案精确1000倍。这显示了最好的原子钟是如何在地球上的远程站点之间同步的，以及时间信号如何在更远的距离上被传输，甚至在宇宙飞船之间飞行。

新结果也创下了其他重要记录。NIST团队测量了频率比，即三对（镱—锶、镱—铝、铝—锶）原子频率之间的定量关系。这是迄今为止对该常数进行的3个最精确的测量结果。

频率比是评价光学原子钟的一个重要指标。直接测量光学时钟频率通常以赫兹为单位，受到目前国际标准铯微波时钟的精度限制。而频率比克服了这个限制，因为它们没有以任何单位表示。

此外，Godun提到，根据目前的理论，原子不会通过电磁力与暗物质相互作用。然而，如果这些相互作用存在，它们会导致原子钟频率的微小变化。该研究没有发现这样的变化，这揭示了原子与某种特定类型的暗物质之间的任何电磁相互作用的最大强度几乎是之前确定的强度的十倍。

研究团队正在致力于提高测量稳定性和时钟性能，Hume说，我们期待将这些测量推向更高的精度水平。

光学时钟网络也可以用于探索物理学的许多其他方面，因为它们的精度使人们能够以前所未有的分辨率获得对周围世界的测量。例如在更严格的水平上测试爱因斯坦的相对论，以及寻找物理常数值的可能变化。无论是何种应用，时钟比较越好，影响越大。Godun说，由于目前的精度限制是由技术问题决定的，因此更好地测量非常有希望。（来源：中国科学报唐凤）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41586-021-03253-4

https://doi.org/10.1038/d41586-021-00738-0

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：shouquan@stimes.cn。
作者：David Hume 来源：《自然》

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