

· 前沿科技 ·

时间，精确到千亿亿分之一！

■ 王佳

夜幕退去，黎明初现，我们睁开朦胧双眼后第一件事情几乎都是看时间。

从每一个人的学习工作安排，到整个社会的有序运转，时间对于我们实在太重要。时间是什么，又如何测量和共享时间？对这些问题的探究贯穿整个人类文明史，人们曾用各种不同的方式去记录时间的流逝。

日前，中国科学技术大学潘建伟团队与上海技物所、新疆天文台、中科院国家授时中心、济南量子技术研究院和宁波大学等单位合作，首次在国际上实现百公里级的自由空间高精度时间频率传递实验，时间传递稳定度达到飞秒量级，频率传递稳定度达到千亿亿分之一。

钟振动超过90亿次。振动频率越高，计时就越精确，这就像测量长度的尺子，刻度越密，测量精度就越高。

基于以上事实，原子钟诞生了。利用和原子的共振，我们可以制造出频率高且稳定的振荡器，进而实现极高的时间测量精度。铯原子钟可以做到一亿年只有1秒的误差。

现在科学家们又开发了锶、镱等新型原子钟，它们的频率更高，在光学波段，因此被称为“光学原子钟”，简称“光钟”。光钟的测量精度现在可以达到千亿亿分之一，在整个宇宙年龄的时间尺度上，误差不到1秒。

时间的传播

要不断提升“钟表”性能，还需要把精准的时间传播出去。电脑中有一个内置的计时钟表，为了校正不断积累产生的计时误差，每隔一段时间，通过网络连接，它会和标准“北京时间”进行比对和同步。北京时间基于的便是国家授时中心的原子钟时间。

精确的计时不应局限于高冷的实验室，还要飞入寻常百姓家，因此，我们不仅要有最精确的原子钟，还要有与之精度相匹配的高精度时间传递技术。目前常用的时频传递方式有微波和光纤。利用光纤，已经能够实现精度很高的时间传递，可以满足最精确光钟的要求，但光纤有其局限性，一些偏远地区还没有铺设光纤，无法满足海上导航和定位的需要。要实现全球性的时频传递网络，还需要在自由空间传输的技术，如微波传输技术。但微波的频率要比可见光频率低很多，这就像一把刻度疏松的尺子，在根本上限制了微波时间传递的精度。利用微波，无法满足光钟时间精度的传递需要。

光给予我们精度10的负19次方的时间标准。在这个世界上，有不同的光源，比如太阳光是遍布各种频率的连续光，我们常见的激光是单一频率的光源，还有另一种神奇的激光——光学频率梳，即光梳。

光梳是一种超短脉冲激光，其光谱含有一系列不同的离散、等间距频率信号，这些光学频率信号就像一个梳齿，因此这种激光得名“光梳”。在时间上，光梳相邻脉冲的间隔比普通脉冲激光具有更高精度。光梳技术让人们可以更精确、更容易地测量频率和时间间隔，现在已广泛应用于光钟、激光雷达、天文观测等领域。

全球性光钟网络的建立，亟需高精度的自由空间时频传递技术。光梳在其中发挥着关键作用。最近，中国科学技术大学团队基于光梳技术成功实现自由空间中相距113公里的时频传递，精度达到10的负19次方水平，满足了目前最高精度光钟的需求。



(图片来自研究论文)

地面附近自由空间的环境远比光纤中要复杂，大气中的各种扰动和湍流、链路损耗、环境变化等因素给自由空间中的长距离时频传递带来极大困难。之前，自由空间中的光频传输技术只能实现10公里量级的传输距离。

中国科大团队向这一难题发起挑战——在光源方面，研制出高功率高稳定度光梳，在光信号收发信道方面，研制出高稳定性且高效率的光收发望远镜系统，另外采用线性光学采样的干涉测量方式实现高精度的时间测量。经过一系列技术攻关，最终基于双飞秒光梳和线性光学采样，在相隔113公里的新疆南山天文台和高崖子天文台之间实现了万秒10的负19次方量级稳定度的时频传递。

这一突破不仅带来地面上远距离时频传递的应用，还为未来基于中高轨卫星的高精度星地时频传递奠定了基础。

在奥运赛场，百米大战最为激动人心，胜负往往在毫厘之间，我们直观上感觉到精确计时的重要性。在科学领域，时间的测量精度更高，已经步入10的负19次方量级。人们不断在理论和技术上探索提高时间测量精度，是为了什么呢？

为什么需要如此精确计时

在奥运赛场，百米大战最为激动人心，胜负往往在毫厘之间，我们直观上感觉到精确计时的重要性。在科学领域，时间的测量精度更高，已经步入10的负19次方量级。人们不断在理论和技术上探索提高时间测量精度，是为了什么呢？

精确的测量有望带给我们对世界的全新认识。一百多年前，著名物理学家开尔文勋爵认为“物理学的未来，将只有在小数点第六位后面去寻找”，精密计量学的意义可见一斑。2005年诺贝尔物理学奖得主约翰·霍尔更是说“计量学是科学之母”。时间的精确测量和传递，将使人们能够对相对论原理、各种引力理论、暗物质模型等基础物理进行检验。测量结果的微小不同，带给我们的却可能是时空观念的转变。

时间的精确测量可以让我们的生活更便利。例如，我们的生活早已离不开导航和定位，卫星的导航精度与计时精度紧密相关，要想定位更准确，就需要更好的计时精度。在大地测量、地质勘探、雷达探测等领域，精确的时间也都发挥重要作用。

光钟以及光频传递技术的发展，有望让人们重新定义“秒”。现在秒的定义在1967年被确定由铯原子钟来定义。经过几十年的发展，时间测量与比对的精确程度已经比原有定义优异两个以上数量级，因此国际计量组织计划2026年讨论“秒”定义的变更。秒是七大基本物理量之一，且目前其他基本物理量(除物质的量外)均直接或间接与时频标准相联系。因此，新的“秒”定义将给整个科学领域甚至社会的方方面面带来改变。



更多内容 扫码阅读

“科学岛”研制出新型智能农药输送体系

本报讯(记者 汪永安)近日，中科院合肥研究院智能所吴正岩和张嘉团队研制出酸/碱双重响应型智能农药输送体系，该技术为农药载体材料合成及其应用提供了有效借鉴。相关成果已被《化学工程杂志》接收发表。

农药在防治杂草和病虫害方面发挥着主导作用，守护着粮食安全，但传统农药在田间施用过程中易流失至土壤中，从而危害环境和人类的健康。在过去的几十年里，刺激响应型控释农药因其可以提高农药的利用效率，同时减少对环境污染而受到农业领域的关注。这类农药主要由农药活性成分、农药载体和具有刺激响应性的官能团组成，通过对在刺激下的响应来控制农药的释放；可以按照设定的时间、地点以及定量释放农药，有效降低农药的过量使用和重复施用，从而降低对环境的污染，提高农药的有效利用率和靶向性。光、电、磁和pH常被用作促进农药释放的触发因子，其中pH响应由于操作简单和低成本的特点引起了广泛关注，然而，单一的pH敏感性可能也会给应用带来一定限制。

为了拓展应用场景，课题组设计出一酸/碱双重响应型智能农药输送体系。该体系以埃洛石复配分别对酸和碱敏感的两种钙离子复合物构筑响应体系来递送农药，表现出良好的农药负载能力和酸/碱双重响应控释行为。同时，该体系具有优异的叶面附着性能，耐高温和抗紫外能力，不仅可以避免超过药物活性阈值的过量暴露带来的药害和药剂损失，而且还可以使药剂在释放周期内持续发挥作用，从而提高农药有效利用率。该技术在农药的高效利用和保护农业生态环境方面具有较好应用前景。

首批石榴新品种通过国家实地审查

本报讯(记者 汪永安)金秋十月，榴果飘香。近日，由安徽省农科院园艺所申报的石榴鲜食品种“妃红”“酥籽”和观赏品种“皖榴红2号”通过了国家林草局植物新品种办公室的现场审查，这是我省首批通过国家林草局实地审查的石榴新品种。

石榴作为我省重要的特色果树，产业发展迅速。石榴果实可鲜食，也可加工成酒、饮料和功能性营养品，还可用于医疗保健和观赏，产业链条长、效益高，在乡村振兴中展现出巨大的发展潜力。近年来，安徽省农科院园艺所石榴创新团队在石榴资源收集、整理、创制与利用中做了大量工作，创制出鲜食、加工、观赏等不同系列的优异种质。此次选育的新品种“妃红”，具有果大、色艳、风味醇厚等特点，是我国北方石榴产区产业升级的理想替代品种；“酥籽”果大，核半软，咀嚼有香味，抗寒、丰产性好，适合江淮地区及相似生态区推广。观赏品种“皖榴红2号”，丛生，花红色，花径大、花量特大，花期长达80天，可用于草坪、庭院或花坛内丛植栽培，也可作为绿篱进行栽。

“石榴新品种性能上的突破，不仅可满足我国北方石榴产区品种升级换代的需求，对提升我国自主培育品种的市场占有率也有重要意义。”省农科院园艺所袁改花博士说。

集成光子芯片上实现人工合成非线性效应

本报讯(记者 陈晓婉)记者10月27日从中国科学技术大学获悉，该校郭光灿院士团队在集成光子芯片量子器件的研究中取得新进展。该团队邹长铃、李明研究组提出人工合成光学非线性过程的通用方法，在集成芯片微腔中实验观测到高效率的合成高阶非线性过程，并展示了其在跨波段量子纠缠光源中的应用潜力。相关成果近日在线发表于《自然-通讯》。

自激光问世以来，非线性光学效应已经被广泛应用于光学成像、光学传感、频率转换和精密光谱等领域。对于新兴的量子信息处理来说，它也是实现量子纠缠光源以及量子逻辑门操作的核心元素。然而受限于材料非线性极化率随阶数呈指数衰减这一本质属性，人们对光学非线性性的应用主要局限于二阶和三阶过程，多个光子同时参与的高阶非线性过程研究很少。一方面，低阶过程限制了非线性性与光子器件的性能，比如量子光源的可扩展性；另一方面，人们也好奇高阶非线性过程所蕴含的新颖非线性与量子物理现象。

利用集成光子芯片上的微纳光学结构可以增强光子间的非线性相互作用，这已经成为目前国际上集成光学与非线性光学方向的研究热点。邹长铃研究组李明等人长期致力于集成光子芯片量子器件的研究，开拓微腔增强的非线性光子学，提出并证实了微腔内多种非线性过程的协同效应，开辟了室温下少光子、甚至单光子级的量子器件的新途径。现阶段，该研究组已经能够将非线性相互作用强度随阶次的衰减速率大大提升。即使如此，在集成光子芯片上实验观测到阶次大于三的高效率非线性效应依然极具挑战。

针对该难题，李明等人另辟蹊径，提出一种新颖的非线性过程人工合成理论，即利用材料固有的较强的二阶、三阶等低阶效应，通过人工调控多个低阶过程级联形成的非线性光学网络来实现任意形式、任意阶次的光子非线性相互作用。这种方法避免了在原子尺度去修饰材料的非线性响应，而仅需要控制微纳器件的几何结构就可实现高效率、可重构的高阶非线性过程。

利用集成的氮化铝光学微腔，该团队在实验上同时操控二阶的和频过程和三阶的四波混频过程，合成了更高阶的四阶非线性过程。实验证明，该人工合成的过程比材料固有的四阶非线性效应强500倍以上。如果进一步提升微腔的品质因子，该增强倍数可达1000万以上。

该团队将人工合成的四阶非线性应用于产生跨可见-通信波段的量子纠缠光源。通过测量跨波段光子间的时间-能量纠缠验证了人工合成过程的相干性。相比于传统跨波段量子纠缠光源的产生方法，该工作极大降低了相位匹配的困难，并且仅需要通信波段单一泵浦激光，展现了人工合成非线性过程的优势和应用潜力。

我是气象小能手

近日，安徽向日葵公益助学服务中心联合旌德县妇联，共同面向困难学生开展“金秋科普行”研学活动，带领孩子们参观旌德县气象科普馆，并向学生颁发2022年助学金，送来课外阅读书籍和生活用品，丰富孩子们业余生活。

本报记者 徐旻昊 摄影报道



- ▲ 学生在旌德县气象科普馆玩科普小游戏。
- ▲ 学生在旌德县气象科普馆抢答气象知识。