

1 秒钟到底有多久

新研究首次对比 3 个顶级原子钟

■本报记者 唐凤

“滴答、滴答。”对很多人而言,呼吸间就是 1 秒;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。

这项工作首次比较了 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迈进了一步,并有助于寻找宇宙中难以捉摸的组成部分——暗物质。”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。

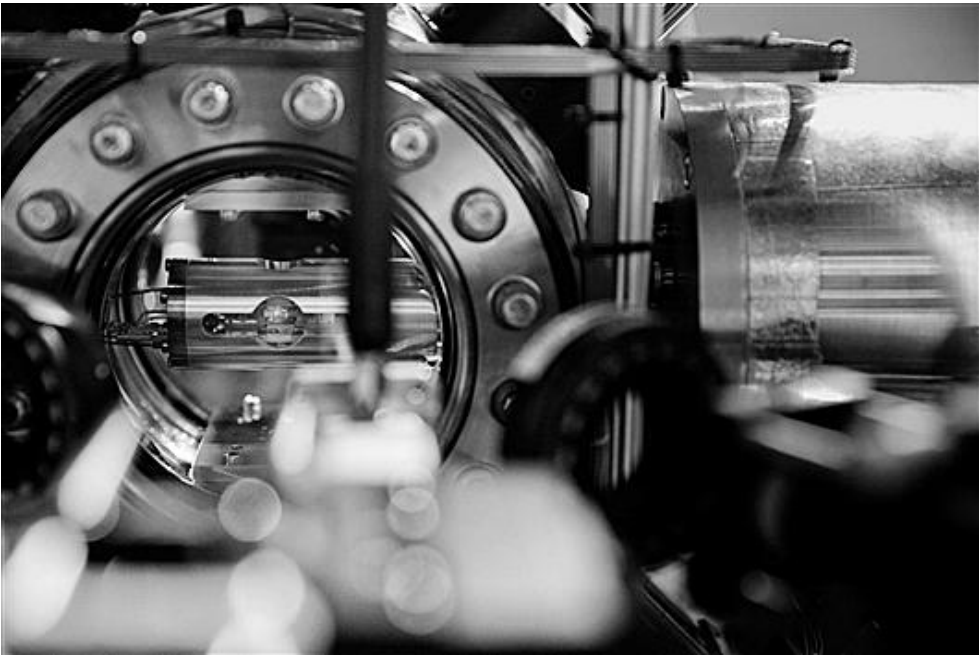
20 世纪 20 年代,天文学家发现,由于季节性气流和洋流的运动,地球自转有周期性变化。于是,人们开始提出新的计时方法——原子时。1948 年,英国制造出世界上第一台原子钟。

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



原子钟的“心脏”

图片来源:新加坡国立大学

的铯原子钟。不过,想要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,同样的频率比值可以由世界各地的其他团体测量到。”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 和同事部署了一个由 3 种原子钟组成的网络,并比较了它们在 2017 年 11 月至 2018 年 6 月间各自的频率比值。这些原子钟分别放置在科罗拉多州博尔德市各个地点的大楼里。

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(NIST 和科罗拉多大学的联合研究所)的镱晶格时钟。

Godun 告诉记者,世界上最好的光学钟包

括 NIST 的铝离子和镱时钟,以及 JILA 的镱时钟。所有 3 个时钟的测量频率估计误差在 10⁻¹⁸ 分之 2 或更小。

但测量工作面临前所未有的挑战——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,并让它们同时以高精度运行。为了使测量成为可能,我们采用了 3 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,也可以在空精确地比较光学时钟。该技术也是第一次用于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 10⁻¹⁸ 分之 6 到 8。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 10⁻¹⁸ 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,且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传输。

新研究也创下了其他重要纪录。NIST 团队测量了频率比值,即三对(镱—锶、镱—铝、铝—锶)原子频率之间的定量关系。这是迄今为止针对该常数得出的 3 个最精确的测量结果。

频率比值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,受到目前国际标淮铯微波时钟的精度限制。而频率比值克服了这个限制,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强度的 10 倍。”

研究团队正在致力于提高测量稳定性和时钟性能。Hume 说,科学家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结果。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。

“由于目前的精度限制是由技术问题决定的,因此非常有希望进行更精确的测量。”Godun 说。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03253-4>
<https://doi.org/10.1038/d41586-021-00738-0>

“小柯”秀

一个会写科学新闻的机器人

《科学》

T 细胞调节肠道对营养感应的反应

美国耶鲁大学医学院 Ruslan Medzhitov 小组发现,γ^δ T 细胞调节肠道对营养感应的反应。该研究日前发表于《科学》。

为了研究小肠中养分吸收的调控方式,研究人员测试了饮食中不同的大量养分组成对上皮基因表达的影响。研究人员发现,碳水化合物消化和吸收所需的酶和转运蛋白受碳水化合物可用性的调节。这种机制的“按需”诱导需要 γ^δ T 细胞,这种细胞通过抑制 3 型先天性淋巴样细胞产生白介素 22 来调节该程序。

营养物质的利用改变了 γ^δ T 细胞的组织定位和转录组。另外,对饮食的转录反应涉及上皮区室的细胞重塑。因此,这项工作确定了 γ^δ T 细胞在营养感知中的作用。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1126/science.aba8310>

《免疫》

细胞毒性淋巴细胞可在肿瘤中靶向生物物理特征

美国伊利诺伊大学 Ekrem Emrah Er、纪念斯隆-凯特琳癌症研究所 Morgan Huse 等研究人员合作发现,细胞毒性淋巴细胞可在肿瘤中靶向生物物理特征。相关论文 3 月 22 日在线发表于《免疫》。

研究人员发现,促进迁移和转移性侵袭的心肌相关转录因子(MRTF)使得癌细胞对免疫系统敏感。在转移小鼠模型中,具有高 MRTF 表达的黑素瘤和乳腺癌细胞被细胞毒性淋巴细胞选择性清除。通过使用免疫检查点封锁(ICB)抗体进行治疗,可以进一步增强这种免疫监视表型。研究人员还观察到人类黑素瘤中的高 MRTF 信号与患者的 ICB 疗效相关。

使用生物物理和功能分析,研究人员表明 MRTF 过表达使丝状肌动蛋白的细胞骨架僵化,这种机械变化使小鼠和人类癌细胞更容易受到细胞毒性 T 淋巴细胞和自然杀伤细胞的攻击。

总的来说,这些结果表明免疫监视具有机械功能,这与靶向转移性疾病特别相关。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1016/j.immuni.2021.02.020>

更多内容详见科学网小柯机器人频道:
<http://paper.sciencenet.cn/AInews/>

“世界需要可信赖的科学”

(上接第 1 版)

换句话说,论文的不断修改既完善了科研工作,也提升了论文质量。当然,编辑和评审专家并非“超人”,不是所有结论都能证实,也难免会存在错误。因此,文章发表之后来自读者的验证也非常重要。

编辑和评审专家在编辑过程中也越来越借助于技术的力量。例如,现在我们可以筛查每一篇论文有无抄袭问题。我们有 1/3 的评审专家是基于算法推荐的(也综合了编辑的考量)。我们正在尝试用自动检测手段来识别图片修改、强制引用、证据改动等多种行为。

我期待着这种技术支持扩大到语义工具,用以核实参考文献的相关性和完整性,以及研究假设、方法和结论的相似性。

《中国科学报》:在您看来,导致撤稿的潜在因素有哪些?应当如何理性看待撤稿现象?

特赫根:撤稿或是由于作者承认无心之过,或是出于对科研或出版行为是否诚信的疑虑。如果作者注意到论文包含方法论或数据解释方面的错误,就可能坦然地承认。我们应该为这些作者鼓掌,因为他们避免了对科学知识造成的污染。合理原因导致的主动撤稿实际上是科学知识不断演进的众多方式之一。

由于不诚信行为导致的被动撤稿完全

是另外一种情况。我们注意到越来越多的对期刊诚信的有组织的毁坏,例如有人假冒客座编辑、审稿人,或者出于商业目的伪造论文。部分此类问题只有在发表之后才能被检测出来,从单篇论文很难发现端倪,只有基于大量论文的模式识别才能分辨。我们的鉴定团队掌握了大量信息,并利用了数据科学和其他技术来进行检测。

这可能要花费多年,但是我相信,百分之百的科研不端行为,如修改图片、伪造结果或强制引用终将暴露。有些严重抄袭事件发生 10 年、20 年之后,我们看到当事人的科研生涯终止了。

《中国科学报》:对于因科研诚信撤稿的作者,科学期刊一般是否会继续采用其论文?

特赫根:科研人员一旦被证实存在科研诚信问题,重建信用是很难的。我们没有建立不诚信作者的名单,但我相信出版界的期刊编辑群体的记忆力很好。

严重的科研欺诈事件通常会影响到各个出版机构的出版物,所以对于相关问题人员的顾虑很容易在编辑们之间扩散。撤稿的记录永远无法抹去。

同时,学术界对于初级科研人员的小问题也表示出包容,例如,在论文的“研究方法”部分抄了几句话,但却充分说明“参考”了原作者,实际上是一个轻微的违规。

《中国科学报》:以爱思唯尔为例,请谈

谈出版机构如何与科学界互动,维护良好的科研环境?

特赫根:每一天、每一周,我们都与科研人员有着许许多多的对话,而且在全球疫情中得以持续,虽然我们发现在疫情中扩大联系比平常更难了。

对话的主题涉及与科学家相关的方方面面,包括研究经费、终身教职、职业生涯、教育、技术、科研政策,等等。我们注意到世界各地的科学家都有开展研究、保持竞争力、展示社会影响力等方面的压力。我们通过提供关于研究的洞见,以及内容、数据、平台和技术,为科研环境建设提供支持。

30 年前要花几个小时收集的信息现在只需要 3 分钟就够了。我们如今在研究流程、医疗卫生和医学教育中得到的信赖和发挥的作用,在我刚出版入时只是梦想而已。在下一个时代,我们还将运用虚拟现实、人工智能及其他技术来支持科研进步。

我认为,负责地使用信息工具能够改善可发现性,整合科研内容,以快速浏览相关内容、指示关系,甚至生成研究假设。

与社交媒体不同,科研知识的网络需要防止泡沫,提供透明性,并由科研人员完全掌控。我相信在科研领域将有信息产业发挥支持作用的一席之地——作为“数字化科研助手”扮演不显眼但可靠的配角,而科学家才是真正的明星。

一定风险,但他能从科学的角度理性看待这项试验,该试验有助于了解新冠病毒对人类的威胁,更快推进新冠疫苗研发,甚至增强人们应对变异病毒的能力。

据报道,试验初期研究人员计划使用去年 3 月在英国传播的新冠病毒,之后部分志愿者将可能在接种疫苗的情况下接触到变异新冠病毒,以助力开发针对变异新冠病毒的疫苗。不过,后一阶段的试验尚未获得官方批准。

斯帕尼奥利即将大学毕业。他希望英国逐步“解封”后,他可以开始实习工作。目前,他随时准备接听让他参与“试毒”的电话通知。

“我相信无论如何,我总能够提供一些帮助。”他说。

(据新华社)

科学线人

全球科技政策新闻与解析

欧盟限制外国参与量子、空间研究项目



由欧盟研究专员 Mariya Gabriel 监管的一个部门希望通过禁止非欧盟研究人员参与来保护其战略性研究。

图片来源:AP PHOTO/FRANCISCO SECO

随着各国国家战略性研究局势日益紧张,“战略自主”和“技术主权”思想也影响了欧盟委员会的政策部门,他们认为欧盟应在内部生产量子计算机和空间技术等关键技术部件,以捍卫欧盟的战略资产、利益、自治或安全。

于是,欧盟委员会相关部门拟定草案,试图阻止欧盟以外国家参与其新的研究资助计划——“欧洲地平线”中的量子计算和空间项目。

据《科学》报道,这一提案必须在接下来的几周内得到欧盟 27 个成员国代表的批准,一旦通过,将使习惯于充分利用欧洲研究方案的其他国家(包括瑞士、英国和以色列)的研究人员无法继续参与相关项目。挪威、列支敦士登和冰岛等欧洲经济区国家将被禁止参与欧盟空间研究项目,但被保留了参加量子计算项目的资格。

一些研究的负责人认为,上述提案的限制措施对包括欧盟在内的所有缔约方来说不过是自欺欺人。“这一提案只会造成两败俱伤的局面,所有国家的研究人员都必须更加努力,并花费更多的钱,才能在相关领域取得进展。”英国大学联盟国际部主管 Vivienne Stern 说。

这一意外的消息也让一些现有研究合作项目的负责人感到不安。他们急于确认如果有资格获得欧盟进一步资助,其项目是否需要排除相应的合作伙伴,甚至退出。“这真的很可惜,因为我们与英国合作伙伴开展的研究关系紧密,且富有成果。”意大利非营利研究组织 CousiZIO C.R.E.O 负责人 Sandro Mengali 说。他是欧盟资助的航天器隔热板开发项目的协调员。

目前,上述提案尚未确定,各国代表还在商议中。

(徐锐)

20 年！破解超级害虫“独门绝技”

(上接第 1 版)

不过,节肢动物水平基因转移事件的基因供体几乎是微生物,此前一直缺少植物源功能基因水平转移至昆虫的实验证据。

论文共同通讯作者、瑞士纳沙泰尔大学化学生态学家和昆虫学家 Ted Turlings 说:“这项研究在国际上首次提供了植物基因水平转移至昆虫中的功能性证据,这种能够代谢植物防御性毒素的基因——*BtP-MaT1* 仅存在于烟粉虱中。”

通过体外细胞表达酶活分析、烟粉虱中肠组织酶活分析和烟粉虱排泄物酶活代谢分析发现,这个基因依然行使着和植物同源基因一样的功能——对酚糖进行解毒。

“植物的‘矛’被烟粉虱偷来,反而变成了攻击植物的‘矛’。”张友军说。

用 RNA 干扰反制

“我们认为植物的某种病毒可能携带了 *BtP-MaT1* 基因,在被烟粉虱取食后,该病毒通过某种未知的机制,将该基因整合到烟粉虱的基因组中。”Turlings 说,“当然,这是一件看似不可能发生的事情,但试想在一百万年里,几十亿个昆虫、病毒和植物穿越时间不断进化,这种情况偶尔也会发生,如果获得的基因对昆虫有利,那么它就会进化得更有利,并广泛传播。”

揭示了烟粉虱难以置信的适应能力的分子机制之后,张友军团队制定了一种策略,来破解烟粉虱窃取“超级力量”,即利用 RNA 干扰烟粉虱的 *BtP-MaT1* 基因,使其对这种植物有毒化合物敏感。

RNA 干扰是指在进化过程中高度保守的、由双链 RNA 诱发的、同源 mRNA 高效特异性降解的现象,其作用是使得相关基因沉默。

在这里,“我们用 *BtP-MaT1* 基因的片段制作了发夹 RNA,直接向烟粉虱饲喂发夹 RNA,干扰效率约为 50%,沉默该基因后,3 种酚糖处理使烟粉虱的死亡率增加约 20%。”张友军说。

此外,他们还构建了表达该发夹 RNA 的转基因番茄品系。他们发现,取食转基因番茄的烟粉虱排泄物中,一部分酚糖类物质的含量增加,且部分酚糖的酰基化产物降低。

“在没有农药作用下,取食野生番茄 7 天后,烟粉虱死亡率为 15.48%,取食转基因番茄 7 天后烟粉虱死亡率为 93.35%,而对非靶标节肢动物蚜虫和二斑叶螨没有影响。”郭兆将说,转基因番茄品系能够有效控制烟粉虱。

“当然,应用这种方法还需要克服一些障碍,最明显的就是人们对转基因作物的忧虑。”Turlings 说,“但在未来,我确实认为这是一种绿色高效安全的烟粉虱防治方法,因为该基因来源于植物,而且,现在我们明确了它的作用机制,我们也有能力应对烟粉虱基因可能发生的变化。”

“这种转基因番茄转入的基因是植物的同源基因,因此更加绿色高效。未来有可能应用到烟粉虱防治过程中。”张友军说,他们已经申请了中国国家发明专利。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.02.014>