



# 人类经历原子钟计时以来最短一天 地球自转为何也在“赶时间”？

◎本报记者 唐芳

8月25日,第二届中国空间科学大会在山西太原举办。会上,原子钟作为一个重要话题被提及。

作为最精确的计时工具,原子钟在人类计时史上作出了不少贡献,而在不久前,有科学家利用高精度原子钟记录了迄今最短的一个地球日。一般来说,一个地球日约为24个小时。可

是在今年的6月29日,地球自转一周的时间却比24小时少了1.59毫秒,成为原子钟计时以来最短的一天。

地球自转一周的时间缩短,意味着地球的自转加速。根据《亚洲—大洋洲地球科学学会年度会议报告》,科学家们认为此次地球的自转加速是由钱德勒摆动导致的。

那么,原子钟计时是什么原理?地球自转真的在加速吗?钱德勒摆动是如何产生的?近日,科技日报记者就这些问题采访了相关专家。

## 世界上最准确的计时工具

“常见的时间系统有3种,分别是以地球自转周期为基准的世界时(UT)、以地球绕太阳公转周期为基准的历书时(ET)和以铯原子内部电磁振荡频率为基准的原子时(AT)。”中国航天科技集团有限公司第五研究院510所研究员翟浩向记者介绍。

时间系统的发展,经历了从天文时发展到原子时的过程。天文时是指观测天文现象,也就是日月星辰等天体的周期性运动得到的时间,包括上面提到的世界时和历书时。原子时指的则是利用原子钟,以原子吸收或释放能量时发出的电磁波为基准得到的时间。

原子时萌芽于20世纪40年代末期,诞生于20世纪50年代初期。1967年,第十三届国际计量代表大会决定,将秒的定义从天文秒改为原子秒,即将铯原子零场基态超精细跃迁的9192631770个周期所持续的时间定为1秒,称作原子秒,并将1958年1月1日0点0分0秒作为原子时的计时起点,从而开创了以微观量子跃迁为计时标准的新时代。

翟浩表示,原子钟常用的元素有铯、铷、氢以及碱土金属等。由于这类原子具有非常高精度的能级跃迁,因此其输出的电磁波非常稳定。一系列精密仪器控制这些电磁波,使得原子钟的计时非常准确。典型的铯原子频标

的准确度为 $10^{-14}$ 量级,比宏观计时的天文时准确度高了数个数量级。如此准确的原子时,为天文、航海、航天等领域的发展提供了强有力的保障。

“从工作原理看,原子钟是基于量子力学和原子物理等物理机理,利用原子跃迁原理产生稳定而准确的时间频率信号的设备。”翟浩表示,原子钟分为微波原子钟和光钟两大类,目前作为国际时间频率基准使用的铯原子喷泉钟,属于微波原子钟,其准确度已经达到很高的指标。中国计量科学研究院的铯原子喷泉基准钟NIM6的频率不确定度优于 $5.8 \times 10^{-16}$ ,相当于5400万年不差1秒。中国科学院国家授时中心等单位的光钟也达到了国际先进水平,系统不确定度达到了 $5 \times 10^{-17}$ ,相当于6亿年不差1秒。

世界时与地球自转关系密切,地球自转加快,则世界时加快,地球自转减慢,则世界时减慢。因此,随着时间的迁延,原子时和世界时两种时间尺度的差距将会越来越大。

目前国际通用的标准时间叫做协调世界时(UTC),它是以原子时的秒长为基础,在时刻上尽量接近于世界时的一种国际时间计量系统。每当原子时和世界时两者之差逐年积累达到0.9秒时,协调世界时就通过正负1闰秒的方式弥补误差,同时保持时间尺度的均匀。

## 地球自转短期加快但长期减缓

当前,地球自转的平均周期是23小时56分04秒。有学者研究认为,地球刚刚诞生的时候

自转速度非常快,一天仅8小时;到了恐龙时代,地球的一天已有23.5小时;而恐龙时代到现在的

长期来看,地球自转趋于变慢,科学家预计再过1亿年,一天可以增加半小时;而在稍短的时间尺度内,比如未来几万年或几十万年,随着月球的潮汐力减弱等,地球自转减速则会趋缓。

1亿多年时间里,地球自转的平均周期共变长约30分钟,即平均每年变长约16.4微秒。

中国科学院国家天文台研究员平劲松表示,伴随着地球的动力学演化,地球自转从几十亿年前开始就有减缓趋势。研究表明,最近的减缓速率约为每世纪2毫秒。地球引力的固体潮汐拖拽作用,减慢了地球自转。

根据原子钟的精确测量结果,今年地球越转越快,一天的时间变短了。平劲松强调,事实上,近半个世纪以来,地球自转在长期放缓的趋势下,有着短周期的起伏,即地球加速旋转。

比如,2020年出现了28个最短地球日。其中2020年7月19日,地球以24小时差1.47毫秒自转一周,创下当年的最短地球日纪录;在2022年6月29日,这一纪录被打破。

## 钱德勒摆动的机制是百年难题

钱德勒摆动是地球自转轴的摆动,由美国天文学家塞斯·卡洛·钱德勒于1891年通过天文观测发现,摆动幅度在地球表面为3—9米,摆动周期约14个月。

“钱德勒摆动不直接导致地球自转加速。”北京大学特聘副研究员杨翼表示,二者有一定的相关性,但是二者之间的因果性还不太明确。其实,地球系统内部的物质迁移和角动量交换,均可导致地球自转轴的位置和自转的速率发生变化。

地球是不均匀椭球体这一特征,被视为导致钱德勒摆动的原因之一。但事实上,钱德勒摆动作为地球摆动的一部分,其激发机制是地球科学界的百年难题。科学家们提出了潮汐作用、与液态地核的动量交换、大地震等机制,也会导致钱

平劲松说,一个合理的解释是,温室效应加剧引发全球变暖,地球两极和高海拔地区冰川融化,全球海平面每年上升约3毫米,地球上的物质进行重新分布,导致整体绕自转轴的转动惯量减小,地球的自转加速。

在感官上,人类很难感受到地球自转速率的变化。然而,对于人类使用的各种高精度仪器和设备,这种毫秒级的变化相当重要。例如,地球自转速率和自转轴的变化,对于建立精准动态地球坐标参考系统至关重要,也决定了卫星导航、定位和定轨的精确性。

长期来看,地球自转趋于变慢,科学家预计再过1亿年,一天可以增加半小时;而在稍短的时间尺度内,比如未来几万年或几十万年,随着月球的潮汐力减弱等,地球自转减速则会趋缓。

## 新知

## 125万年前 现代黄河水系开始形成

科技日报讯(记者顾满斌)近日,记者从兰州大学了解到,在中国科学院院士陈发虎的协调和部署下,兰州大学西部环境教育部重点实验室地貌演化与新生代环境研究团队与中国地震局地质研究所、中国地震局第一监测中心等单位联合,在三门峡盆地中心实施了环境钻探,并开展了合作研究,从而获取了黄河贯通三门峡历史的完整岩芯记录。团队通过与盆地边缘露头剖面的对比,明确了首次出现的岩芯108米处河道沉积物,是黄河在三门峡地区留下的最老印迹。

相关研究结果于近日在《科学通报》上发表,不仅明确了现代黄河水系的形成时代,还为研究世界大江大河的形成演化历史与水系发育模式提供了新的视角。

三门峡是连接黄河中游和下游的咽喉地带,在黄河水系形成演化过程中占据着关键地位。过去,中外科学家主要围绕三门峡盆地及周边地区的露头剖面开展研究。但由于晚新生代地层出露不连续,研究剖面往往由多个相距数公里的短剖面拼接而成。加之地质构造复杂、植被覆盖度高、地层风化严重,在剖面对接、沉积相划分、年代测定等方面均存在较大不确定性。上述因素,导致研究者们对于现代黄河水系的形成时间产生了认识分歧。

综合新开展的地貌分析证据、潘保田教授团队发表的系列黄河中游黄河阶地证据、近年来发表的边缘海沉积等证据,研究团队提出:现代黄河水系在125万年前开始形成,中更新世全球气候转型期海平面的加速降低,对其形成有重要影响。



## 鳗草栖息地北移的原因揭晓 气候变暖潜在影响不容忽视

科技日报讯(记者王健高 实习记者宋迎迎)近日,国际学术期刊《细胞》子刊《交叉科学》在线刊发了中国科学院海洋研究所(以下简称中科院海洋所)研究成果“气候变暖使温带海域鳗草地理分布南界北移”。该研究首次发现了气候变暖致鳗草地理分布南界北移的现象,揭示了全球气候变化对于海草床生态系统的潜在影响。

该研究以温带海域广泛分布的海草品种——鳗草为研究对象,对我国鳗草地理分布南界海域进行了全面的重新调查,并通过对比历史文献资料,发现我国鳗草的地理分布南界已经发生了北移。具体来说,我国鳗草的地理分布南界已经由山东省日照市的石臼所,北移至山东省青岛市的渔鸣嘴。

为确定鳗草地理分布北移是否是由于区域变暖所致,在2016年至2021年期间,中科院海洋所科研人员从青岛湾获取鳗草植株和种子,在日照石臼所海域开展了16次鳗草植株移植和种子种植实验,监测了海草生长状况及水温等环境参数,并进行了海草生化分析和转录组分析。

研究发现,在16次修复实验中,鳗草种苗和植株均无法在移植的第1个夏季或第2个夏季后存活。这表明,夏季的高水温是鳗草移植失败的主要原因。在热应激下,随着水温的升高或胁迫时间的延长,抗氧化酶活性升高,并最终引发抗氧化酶系统崩溃,从而导致抗氧化酶活性降低、鳗草遭受损伤,最终死亡。转录组结果显示,热应激条件下HSP70蛋白家族及其分子伴侣结合蛋白(BiP)的基因表达量发生了显著上调。以上研究表明,在全球气候变暖的大背景下,我国鳗草的栖息地已经发生了北移。

## 牦牛特有肺内皮细胞类群 助其适应高寒缺氧环境

新华社讯(记者陈杰)在氧气稀薄的青藏高原,牦牛为何能不知疲倦地奔跑?近日,来自中国科学院西北高原生物研究所等机构的研究团队通过解析牦牛基因组,发现一种牦牛特有的肺内皮细胞类群,可能对牦牛适应缺氧环境起到了关键作用。相关成果已于近日发表在国际权威期刊《自然·通讯》上。

牦牛是维系青藏高原生态系统功能与畜牧业发展的关键物种,以耐高寒、抗缺氧而闻名。受参考基因组不完整等因素制约,目前牦牛适应性相关分子遗传机制的研究进展缓慢。

据了解,中国科学院西北高原生物研究所与中国科学院昆明动物研究所、中国科学院大学等研究机构合作,通过运用二代、三代测序技术等手段,分别构建了野牦牛和家牦牛高质量染色体水平参考基因组,再结合普通牛数据,系统分析大片段结构变异在牦牛基因组的分布特征。

研究人员发现,牦牛及黄牛肺脏中内皮细胞群表达含结构变异的差异基因最多。通过比较牦牛与普通牛的基因组,研究人员发现二者之间存在差异的基因片段。这些差异指向了基因表达的改变,从而能够帮助动物更好地适应环境。

在研究牦牛肺部单个细胞内的基因表达水平时,研究人员偶然发现血管内膜中的一种全新细胞类群,这种遍布牦牛肺部的细胞可能会使牦牛的血管更有韧性。同时牦牛的肺组织中存在较多的弹性纤维,能够增强肺的收缩能力,有利于牦牛适应高寒缺氧的环境。

论文共同通讯作者、中科院西北高原生物研究所研究员杨其恩表示,这项研究为系统开展牦牛遗传资源保护与利用提供了数据支撑,同时对分析动物适应高海拔和缺氧引发人体相关疾病的机制具有重要意义。

本版图片由视觉中国提供

## 骗过声呐和耳朵

# “声幻觉壳”让你感受“耳中蜃景”

◎本报记者 符晓波

在沙漠中,绝望的旅行者被沙丘间神奇的海市蜃楼所吸引。古往今来,这样的故事层出不穷。现代科学早已对蜃景做出了解释,即其为不同密度空气中光线弯曲形成的光学幻景。但是人不光有眼睛,还有耳朵。除了海市蜃楼这样的视觉幻象,科学家们对于声学幻象也产生了无限的遐想。是否有一种技术能让我们的耳朵产生海市蜃楼般的错觉?

近日,厦门大学物理系教授陈焕阳课题组基于变换声学理论提出了一种三维全向被动声学幻象的可行方案,设计出了一款“声幻觉壳”。该装置可以欺骗声呐或耳朵,实现声错觉。相关研究成果近日以《三维全向声学幻象》为题发表在《物理评论应用》杂志上,同时被《自然》杂志作为亮点报道。

## 尝试操纵看不见的声波

声波由声源振动产生,是声音的传播形式。以人的耳朵为例,当声音发出时,周围的空气分子引起一连串振动,这些振动就是声波。声波通过空气等介质传输到耳朵,然后由神经系统根据振动情况转化为大脑可辨别的信号。

除了人耳能感受声波,声呐也能利用声波。声呐作为一种声音探测设备,是水下探测使用的主要工具。由于光在水下的穿透力有限,即使在最清澈的海水中,人们也只能看到十几米到几十米内的物体,同时电磁波在水中衰减速率非常高,无法开展有效探测,所以利用光和电磁波来探测水下环境都并非明智之举。相比于前两者,声波在水中传播的衰减小得多。如果一个几公斤的炸弹在深海中爆炸,在两万公里外还可以收到信号,低频的声波甚至可以穿透海底几千米的土层。可以说,在水中进行测量和观察,迄今还未发现比声波更有效的手段。

一直以来,科学家都想尝试像操纵电磁波那样来操纵声波,以实现声音的隐藏或伪装。但因电磁波是矢量波,声波是标量波,电磁波的直流电导方程和声波的声波方程有很大的不同。科学界普遍认为,“操纵纵波”这样的概念不能直接移植或推广到其他的波动系统,因此“操纵声波”似乎不容易。

## 从“隐身术”到“隐声术”

不过,科学家们从未停止探索的步伐。

2013年,德国卡尔斯鲁厄大学托尔加-埃尔金和约阿希姆-费舍尔领导的科研团队设计出一种能够弯曲光线的面料,并利用该面料,制造

出了一件能够从任何角度避开人类视线的斗篷。这引起了人们对光隐身技术的关注,也燃起了科学家对“声隐身技术”的极大兴趣。

科学家们认为,要实现真正的隐身,仅有光隐身显然是不够的,声隐身同样重要。而随着能实现光隐身技术的超材料的出现,理论界开始认为,可能同样存在能够让物体周围的声音转弯而不被反射或吸收的超材料。

陈焕阳介绍,一般理论认为,实现声隐身的关键在于找到能让物体周围的声音转弯而不被反射或吸收的超材料。不过,真正找到这种超材料具有相当的难度,设计出符合水下高温高压特殊环境要求的超材料结构更可谓是非常困难。该团队的相关研究则“找到了简单的方法和设计”,即通过精准调控物体散射的声波来“欺骗”探测器,实现隐藏物体的目的。不仅如此,这一设计还能将目标识别为其他,产生“声幻象”,被认为是一种“声隐身术”的特例。

## 造出类似高尔夫球的“声幻觉壳”

“形象地说,通过我们的装置,声呐会将一块铁探测为一条鱼。”陈焕阳介绍,“声幻觉壳”是一个类似于高尔夫球的球形壳。当物体放置在这个壳体内部时,探测器就会将该物体误认为另一个物体。

早在2007年,陈焕阳就发现了声波方程与直流电导方程的一一对应关系,这一发现建立了与变换光学类似的变换声学。此项工作入选2008年度世界物理学重大研究进展。

随后多年,陈焕阳团队持续在这一方向展开深入研究。团队发现当壳层材料参数沿矢径方向满足共振条件,并保证内外边界阻抗匹配时,就可以用来替代原来所需的极端各向异性材料。经过严格的解析计算,研究人员提出一种三维声全向幻象,即通过精确地消除和重建声场,在声学上将一个物体“转换”为另一个物体。研究人员认为,这一装置极大地简化了材料参数,适用于不同的人射源及不同形状,使声错觉在实际应用中更加可行。这一独特的技术在声学器件设计和反声呐探测伪装等方面,有着广阔的应用前景。当然,这项研究才刚刚起步,要将独创的“声幻觉壳”转换为实用的技术,还道阻且长。