



听《中国科学报》



《中国科学报》官微



科学网 App



科学网官微

装上“内驱马达”，惯性导航再无“盲区”

■本报记者 王昊昊

在惯性导航的世界里，有一个被称为“闭锁”的“幽灵”，能让最先进的激光陀螺在低速时“失明”——转得太慢时几乎测不到任何信号。时间一长，陀螺仪的误差就会像滚雪球一样越滚越大，导致定位严重漂移。

数十年来，全球科学家尝试用机械抖动、磁光晶体等“外力”与之对抗，却始终难以兼顾精度、可靠性与小型化需求。而国防科技大学、陆军工程大学、湖南师范大学等单位联合国际合作伙伴，通过让光在腔内自发地“选择方向”，用物理的“对称破缺”击败这一幽灵，首次在完全兼容传统双频激光陀螺工艺的基础上，研制出无需任何偏置元件的自偏置激光陀螺。该成果 6 月 24 日发表于《自然》。

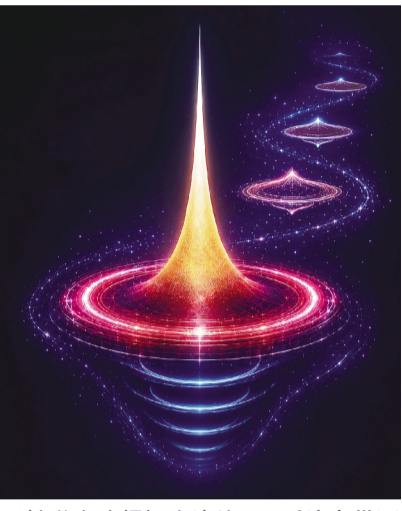
半个世纪的“闭锁”困局

惯性导航是指运用角速度和加速度等力学物理量，对物体进行自主定位的导航技术。上世纪六七十年代，意识到惯性导航对于国之重器的战略意义，我国著名学者钱学森以科学家的远见，将激光陀螺列为必须攻克的关键技术之一。这道“命题”也奠定了中国在此领域自力更生的初心。

接过重任的，是以中国工程院院士高伯龙为代表的国防科技大学激光陀螺团队。面对技术封锁，高伯龙带领团队选择了“四频差动”技术路径。他们从物理方程出发，历经数十年研制出拥有完全自主知识产权的激光陀螺，解决了从无到有的问题。高伯龙培养的首位博士生、国防科技大学教授龙兴武则在另一条主流技术路径“二频机械抖动”激光陀螺的工程化与实用化中取得重要突破。

“两位开拓者用不同的工程智慧，共同回应了钱学森先生的战略期待。”在国防科技大学激光陀螺团队成员看来，他们留下的不仅是成型的技术与装备，更是一种深入骨髓的科研文化，即面向国家重大需求，敢于挑战根本难题，坐得住“冷板凳”，啃得下“硬骨头”。

激光陀螺的工作原理并不复杂：一束光在环形谐振腔中分成两束，分别沿顺时针和逆时针方向传播。当腔体静止时，两束光的频率完全相同；一旦腔体发生旋转，萨格纳克效应会让两束光的频率产生微小差异，这个差异正比于旋转速率。测量这个拍频信号，就能精确



手持激光陀螺概念渲染图。受访者供图

感知角速度。

然而，一个看似无法绕过的障碍横亘于此。由于腔镜存在不可避免的回背散射，顺时针与逆时针两束光之间会产生耗散耦合。当旋转速率足够低时，这种耦合会“锁定”两束光的频率，使它们重新趋于一致，拍频信号就此消失。这个现象被称为闭锁效应，它意味着激光陀螺在近零转速区间存在无法测量的“盲区”。

半个多世纪以来，科学家想出多种办法来绕过“闭锁”这道难关。其中，包括机械抖动法，即给陀螺施加高频机械振动，使其快速“掠过”闭锁区间；磁光非互易法，即利用磁光晶体产生非互易相移，人为制造频率偏置。这两种技术路线分别催生了二频机械抖动陀螺和四频差动激光陀螺，至今仍是高端惯性导航市场的主流产品。

不过，问题远未解决。机械抖动引入的振动误差、磁光晶体的温度敏感性和体积重量，都使激光陀螺在深空探测、导弹制导等对可靠性和小型化要求极高的场景中“力不从心”。

“高院士、龙老师那代人，在近乎一穷二白的条件下，用无与伦比的工程实践能力，为我们开辟了道路，解决了生存与自主的问题。”作为龙兴武的关门弟子，论文第一作者兼通讯作者、陆军工程大学讲师毛元昊说，“站在他们的肩膀上，我们这一代科研工作开始思考，除了用外部方案去‘对抗’或‘绕过’闭锁，能否从物理学的第一性原理出发，找到一种内生的、更根本的解决方案？”

从故障中听到“弦外之音”

许多突破性进展都始于对异常的追问。几年前，团队在改进一项工艺时发现，采用新型镜片的陀螺样机出现了非预期的输出跳变。在工程视野中，这是需要消除的故障。但毛元昊与合作者却从中听到了“弦外之音”——这强烈的跳变，或许揭示了被传统设计所压抑的、激光模式间强烈的非线性相互作用。

“光学谐振腔里的强非线性会诱导出自发手性破缺，这也是我与北京大学的合作者早在 2017 年就发现的新奇效应，但是一直没找到一个重要的应用场景。”论文通讯作者、湖南师范大学教授景辉表示。

团队做了一个大胆的反向操作——不仅不抑制这种相互作用，反而通过使用单同位素增益气体的特殊设计，将其激发到极致。结果，系统并未崩溃，而是优雅地步入了一个全新的稳定态——手性自发对称破缺，即环形激光器自发地选择让一束光强于另一束。

“我们首次在激光陀螺中，可控地诱导并利用了这种物理现象。”论文共同第一作者兼通讯作者、国防科技大学讲师徐纪鹏说，“这就像在一个绝对光滑的穹顶顶端放置一颗小球，哪怕只有最微小的扰动，它也会滚向某一侧。光在环形激光器中也是如此——它不再左右对称地传播，而是‘偏向’一方。”

这种“偏向”带来了一个意想不到的好处：两束光的强度差异会产生一个天然的频率偏置，就像给陀螺装了一个“内驱马达”，足以抵消导致闭锁的干扰。在实验中，这个内置的驱动力比闭锁阈值大了 5 倍多。

通俗地说，过去的陀螺在低速时需要外力推一把才能动起来，而现在的新方案则让陀螺自带内驱力，任何时候都能灵敏响应。

实验结果显示，接近零转速的范围内，陀螺拍频信号始终保持线性输出，彻底消除传统方案无法逾越的“盲区”；开环零偏稳定性达每小时 0.022 度，比地球自转角速度还低近 3 个数量级，意味着它甚至能感知地球自转那样微弱的转动。

研究团队还证实了手性态的双稳特性。在静止条件下，功率重启会因自发发射噪声产生随机的手性输出选择，两种手性态概率相等；而在连续泵浦下

通过旋转调制，旋转方向的反转会诱导同步的手性切换。这一发现为手性态的主动控制奠定了物理基础。

新范式为惯性导航打开想象空间

研究团队证明，手性态下内生的光强不对称，会通过非线性效应自然形成强大的频率偏置。实验测试结果显示，这个自发偏置远大于导致闭锁的阈值。这意味着，仪器从此拥有了不依赖任何外部机械或磁光元件的、内生的“抗闭锁免疫力”。

据介绍，这一基础物理现象的发现，彻底扭转了激光陀螺必须借助外部偏置才能克服闭锁效应的传统技术路线。该方案无需改动现有主流工艺，为激光陀螺的结构简化与全固态化指明新方向。其更深远的意义在于，将非线性模式竞争与对称破缺物理引入惯性传感领域，从而为突破闭锁限制建立一种全新的物理机制。

值得关注的是，这项突破将为实际应用带来深刻变革。“首先是去外部元件化带来的可靠性”毛元昊说，传统机械抖动激光陀螺依赖高频振动电机“骗过”闭锁区间，手性激光陀螺则彻底摆脱了这些外部元件，意味着陀螺可以在更极端的温度、振动和辐射环境下保持稳定工作，而这恰恰是深空探测器和长航时无人机等最核心的需求。

“更关键的是，小型化与芯片化的技术通路被真正打开。”毛元昊表示，传统方案受限于外部偏置元件的物理尺寸，而手性自偏置方案无需任何插入元件，其核心物理机制可在更紧凑的光学结构中实现。结合当前快速发展的集成光子学技术，未来有可能将手性激光陀螺的原理移植到芯片尺度的光学谐振腔上。对于商业航天、无人机集群等成本敏感型应用场景而言，小型化带来的发射成本下降和部署灵活性提升，可能比精度提升本身更具颠覆性。

“基于手性自发对称性破缺的传感范式不局限于激光陀螺。”景辉表示，该机制可能推广到非线性动力学、集成光子学、量子精密传感等领域，为探索光子系统中非线性动力学与对称破缺的相互作用提供新框架。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10684-4>

新策略实现 空气小分子制合成气与硝酸

本报讯(记者孙丹宁)近日,中国科学院大连化学物理研究所研究员王峰、副研究员贾秀全、研究员罗能超团队在微液滴介导空气小分子转化方面取得一系列新进展。团队利用带电微液滴界面电场约束电子,限域羟基自由基(·OH)与氢自由基(H·),实现了甲烷、二氧化碳及氮气等惰性小分子转化制合成气与硝酸,为温和条件下空气组分资源化利用提供了新方法,也为地球能量收支、大气化学和空气质量研究提供了新思路。相关成果发表于《美国化学会志》。

微液滴界面电荷可生成强氧化性的·OH和强还原性的H·e,但两者稳定所需的微环境电荷极性相反,容易复合,限制了微液滴介导的氧化还原反应效率。因此,急需发展约束电子、限域电子转移产物的新方法。

研究团队利用水微液滴与氧化锌(ZnO)之间的接触起电效应,抑制了微液滴界面·OH和H·e的复合,实现了甲烷氧化与二氧化碳还原的耦合,将

甲烷湿重整升级为干重整。研究发现,ZnO通过稳定H·,使一氧化碳生成速率提高4.5倍,同时保持较高的甲烷转化活性。该体系还可实现生物质重整,为利用可持续碳资源提供了便捷途径。基于多相催化的水微液滴相反电荷全利用策略,该成果有望从电荷分离角度拓展微液滴的应用领域。

此外,研究团队还与浙江大学温州研究院教授范晓雷团队、美国宾夕法尼亚大学教授Joseph S. Francisco团队合作,提出了带电微液滴约束等离子体策略,以解决非热等离子体固氮中低能电子热效应导致的能量耗散问题。研究发现,带正电微液滴的静电界面可主动约束等离子体电子,同时降低击穿电压与放电电压,收集并再赋能低能电子。该策略有望凭借能量效率优势,推动分布式固氮在可再生能源场景下的应用。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1021/jacs.6c07879>
<https://doi.org/10.1021/jacs.6c03579>

10年投入10亿美元—— 这种终身透明的小鱼 将成模式生物“新宠”



寰球眼

本报讯 大约10年前,美国科学家开始研究一种通体透明的微型鱼——小丹鱼(Danionella),只能前往观赏鱼店采购。彼时,斑马鱼已是科研界沿用数十年的经典生物学模式生物,小丹鱼却几乎无人知晓。

如今局面已大不相同。据《科学》近日报道,美国霍华德·休斯医学研究所(HHMI)核心研究机构——杰内利亚科研园区近日宣布,将启动一项为期10年、总投资约10亿美元的重大科研项目,以小丹鱼作为模式生物,解析脊椎动物脑细胞与神经回路对复杂行为的调控机制。项目还将依托前沿人工智能工具,解析从这种小鱼身上获取的海量科研数据。

“这是杰内利亚科研园区以来最令人振奋的研究机遇之一。”杰内利亚科研园区副董事长、执行主任 Nelson Spruston 表示,小丹鱼的大脑和身体结构与人类存在明确同源性。长期以来,各类简易模式生物“不断产出重大科研成果,最终助力科研人员研发出多种重症疾病的疗法与药物”。

小丹鱼能迅速走红,核心优势十分明显。斑马鱼寿命长达3至4年,但其仅在出生后前几周身体透明,成年后便不再透明;小丹鱼则终身透明,科研人员可直接观测成年个体的大脑,便于成像,用于研究集群游动、空间定位、求偶等各类行为。

这种鱼仅有米粒大小,终生不长鳞片,不产生色素,也无法形成完整的硬骨颅骨。美国犹他大学的 Adam Douglash 解释称:“所有阻挡光线穿透颅骨、影响脑部成像的结构,在它身上一概不存在。”



仅米粒大小的小丹鱼通体透明,逐渐成为热门实验模式生物。
图片来源:myomyintthu/iNaturalist

HHMI的巨额投入,令研究小丹鱼的学者倍感振奋。美国纽约大学的 Emily Bayer 评价说:“这个项目是任何一间独立实验室都无法完成的。而HHMI充足的资源足以支撑这种高校实验室无法落地的超大型项目。”

不过,小丹鱼相关研究起步十分艰难,科研人员首先要攻克其基础饲养方法、脑部成像技术等底层难题。德国柏林爱因斯坦神经科学中心的 Benjamin Judkewitz 是最早研究小丹鱼的学者之一。“早期几家实验室的核心工作,就是把它培育成一套成熟可用的模式生物体系。”Douglash 的实验室曾为全球各研究团队供应鱼卵。他坦言,繁殖问题至今仍是最大短板,“它们无法像斑马鱼那样按需稳定批量繁殖”。

人工智能工具将是新项目的核心支撑,可快速挖掘海量数据中的规律,辅助科研人员提出科学假设、设计实验方案。杰内利亚科研园区的科研团队还计划研发全新成像技术,在不固定小丹鱼的前提下,就能追踪其自由活动,展现自然行为的个体脑部神经反应。“这对工程技术提出了极高挑战,不过我们已做好攻坚准备。”Spruston 说。(王方)

《全球顶尖科学家流动与合作报告 2026》发布 全球顶尖科学家流动格局正在重塑

■本报记者 倪思洁

6月23日,2026夏季达沃斯论坛期间,北京人才发展战略研究院发布《全球顶尖科学家流动与合作报告2026》(以下简称报告)。报告基于爱思唯尔 Scopus 全球科研数据,对过去两年全球顶尖科学家的跨区域流动进行了系统分析,并在此基础上从国际、国家、城市及学科等多个维度刻画其流动格局及在流动过程中形成的合作网络。

报告显示,在科技全球化深入推进、国际科研合作网络持续织密的时代背景下,兼具广泛学术影响力与卓越创新能力的顶尖科学家跨国流动与协同正成为重塑全球创新生态的关键变量。

“随着全球科技创新走向更加开放协同的发展格局,人才竞争的关键不在于‘留得住’,而在于‘流得通’,唯有促进人才在全球范围内流动与配置,才能持续激发创新活力,更好服务全球发展。”北京人才发展战略研究院院长、北京大学博雅特聘教授王辉说。

全球顶尖科学家 平均职业年龄为 19.9 年

何为顶尖科学家?报告认为,“顶尖科学家”需要同时满足两项标准,一是“过去十年内以第一作者或通讯作者身份发表论文的领域归一化引用影响力(FWCI)不低于1,或至少有一篇论文进入全球同年度、同学科的前1%高被引文献行列”;二是“在其所属的

二级学科中,按第一作者或通讯作者发表的引用排名位于全球前2%”。

报告发现,目前全球顶尖科学家的平均职业年龄为19.9年。82.8%的国际流动发生在职业生涯的前30年,其中近半数(47.5%)集中在职业生涯的前11到20年。若以博士平均毕业年龄31岁作为参照,则顶尖科学家高频参与国际流动与合作的年龄区间为42至51岁。

在合作的人事科学研究领域,吴江看来,要想提升人才的配置效率,更理想的国际流动与合作活跃年龄应该在35至45岁。

“技术迭代速度正在改变传统的流动节奏,政策也需要跟上这个变化。要从国家政策层面切实把35岁以下这些年轻科研人员国际流动与合作的积极性调动起来。”吴江说。

同时,报告显示,全球流动顶尖科学家以学术机构、医疗机构及企业身份署名的比例分别为99.1%、23.3%和7.2%。超过1/4的顶尖科学家拥有多机构署名记录,跨机构合作特征明显。其中,19.8%为“学术机构+医疗机构”,4.0%为“学术机构+企业”。

王辉表示,顶尖科学家的流动既包含物理空间的迁移,也涵盖智力资源的交融,跨机构署名正是这种智力交融的直接体现。

北京大学光华管理学院组织与战略管理系教授李健指出,当前顶尖科学家面临更多元化的职业选择——

高校、科研机构、企业都在竞相邀约顶尖人才。这种多元选择“是一个很好的现象,因为组织可能会提供更多的资金支持、平台支持、算力支持,让他们更有可能去解决实际问题”。

吴江指出,在一个专业深耕的时代已经过去,越来越多科学问题诞生于跨领域多机构的合作。将来无论是提出问题还是解决问题,多机构合作是必然趋势,交叉学科领域的科学问题会越来越多,复杂问题也会越来越多。

对人才的吸引不再是 单个城市间的比拼

报告指出,全球顶尖科学家流动与合作的国家和地区分布呈现出明显的集聚态势。

在洲际层面,亚洲、欧洲和北美洲的流入与流出规模均处于高位。亚洲流入2158人、流出2018人,欧洲流入2057人、流出2056人,北美洲流入1901人、流出1908人。全球各大洲流入与流出基本平衡,体现了洲际科研合作的均衡性。

在国家层面,美国、英国、德国、澳大利亚、加拿大、意大利、法国、瑞士、荷兰等国家的流入和流出规模均较为突出。其中,美国的流入规模为1741人、流出规模为1680人;中国大陆流入1381人、流出1198人。

(下转第2版)



6月23日,由中国铁建大桥局、中国铁建港航局联合承建的世界最大跨度三塔钢箱梁斜拉桥——青龙门特大桥主桥顺利合龙。

青龙门特大桥位于浙江省青龙门水域,连接六横佛渡岛与宁波梅山岛。大桥全长2212米,主桥设计为三塔双索面整幅钢箱梁斜拉桥,3座主塔外观为钻石形,高度达249米。双主跨各756米,共由163幅钢箱梁组成。此次合龙的两幅钢箱梁每幅长4.5米、重82.8吨。

图为青龙门特大桥主通航孔桥合龙段吊装施工现场。
图片来源:视觉中国

海洋关键材料智能加速器“MarineMat AI”发布

本报讯(记者张楠)6月26日,中国科学院宁波材料技术与工程研究所和中国科学院文献情报中心联合发布“MarineMat AI”海洋关键材料人工智能(AI)科研助手。

这款面向海洋关键材料领域的智能工具,旨在以AI技术打通文献、数据与知识之间的连接,为海洋关键材料核心应用场景筑起一条“数据高速路”,帮助科研人员从繁杂的文献检索和数据比对中解放出来,将更多精力投入创新研究与工程应用突破中。

Mat AI着力打造了知识问答、材料检索和性能对比等3个核心功能模块。

其中,知识问答模块让论文“开口说话”。对科研人员而言,读论文最耗时的部分往往不是摘要和结论,而是从数十页的正文中找到真正与研究问题相关的关键描述。MarineMat AI的知识问答模块正是为此而生。只要输入文中与问题相关的描述,系统就能精准定位到这篇论文,并给出有针对性的回答。每一回答均附有明确的来源和出处,确保信息可追溯、可核查。

材料检索模块让查找变得灵活、高效。该模块从材料科学家的实际检索习惯出发,集成了多元化的材料查询方式。材料检索后会得到经结构化梳理的核心信

息与数据摘要,帮助用户高效完成相关性初判;对于需要深入考证的内容,亦可便捷跳转至原文相关表述,实现无缝查阅。这一设计显著提升了相关论文的查找效率,并兼顾了信息的丰富性和可溯源性,让“查得快”和“查得全”不再矛盾。

性能对比模块让数据“一目了然”。材料研发的一大痛点是不同文献的数据单位与测试条件各异,导致横向对比困难。该模块的核心能力在于,通过将不同来源文献的同类型性能参数映射至相同单位,同时对相关数据进行规范化与标准化处理,使得跨文献数据可以在同一尺度下进行有效对比分析,实现“先定性目标,再追溯最优方案”的逆向调研。