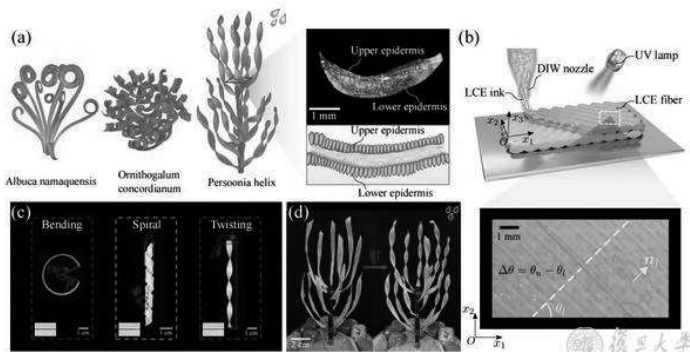


打造仿生植株,在具身智能力学领域获突破



■ 利用液晶高弹体(LCE)双层结构实现各向异性自发应变

智能机器人与先进制造创新学院/航空航天系徐凡教授团队4月21日在《自然·计算科学》(Nature Computational Science)杂志以封面文章形式发表题为“Active twisting for adaptive droplet collection”的论文。这是学校在具身智能力学领域的又一高水平成果,也是学校在该杂志发表的第二项封面工作,被选为“研究简报”(Research Briefing)专题报道。

这次新突破中,团队首次揭示了手性螺旋扭转结构在水分收集与抗风性能中的双效机制,构建力学理论模型预测并指导3D打印活性液晶弹性体基元,成功构建了具有环境智适应特性的仿生具身智能植株。这一智能植株无需外部能源或芯片控制,可像生命体般智能感知环境变化,自发调整形貌以优化功能,在自适应液滴收集和定向输运方面具有应用潜力。

突破学科界限解密叶片手性螺旋形貌

徐凡的研究往往源于生活。2023年,在新疆旅游的他观察到路边的旱地植物,对其手性螺旋扭转的叶片形貌产生了兴趣。

“不同于普通植物,这些旱地植物的叶片为什么总是像DNA一样具有手性螺旋构形?这一形态结构是如何形成的?具有怎样的生命功能?”带着一连串疑问,徐凡请教了诸位植物学家并查阅相关文献。

他发现,沙百合、宽叶弹簧草等诸多旱地植物的叶片都呈现出相似的手性螺旋形貌,其中以原产自澳大利亚南部沙漠中的螺旋金钗木最为典型。

植物学主要关注微观分子层面,比如基因表达如何影响后天形貌成形,而从力学视角,则可以探究宏观层面中手性螺旋结构形成背后有何生物力学奥秘。“20世纪以来生命科学的蓬勃发展,拓

宽了力学学科的研究疆域。”徐凡团队希望探究的,正是生命结构形貌中力的基本作用。

“任何结构都不可能无缘无故出现,一定有其生命功能意义。”徐凡猜想,按照达尔文自然选择学说中的“适者生存”原则,叶片手性螺旋形貌可能能够提高叶片集水效率和抗风能力,有利于旱地植物在干旱缺水、风沙运动活跃的沙漠严酷环境中存活。

植物不会说话。为了验证猜想,徐凡团队根据在电镜下观察到的螺旋金钗木具有双层叶片结构,通过3D打印液晶弹性材料(LCE)仿生制备叶片双层结构,并比较仿生手性螺旋扭转叶片植株与平直叶片植株的集水与抗风效率。实验发现,与平直叶片相比,手性螺旋扭转叶片在雨水收集和抵抗强风方面均具有显著优势。

实现各向异性自发应变

双层结构与手性螺旋扭转形貌之间有什么关系?无论是植物纤维还是人类皮肤,其细观纹理结构都具有方向性。液晶弹性双层结构的优势就在于,当受光或热激励时,其微观分子序构变化会引起宏观各向异性变形,从而引发手性螺旋扭转形貌。

猜想初步证实后,新的问题接踵而至:如何调控仿生植株的手性螺旋扭转形貌,使其实现理想的集水和抗风能力?

“尽管不是如大脑一样高级的智能,但一个小小的细胞也具有智能,能够对压力、水分、温度、化学、光照等环境刺激做出自发响应,这就是具身智能。”徐凡说,与生命体中的细胞类似,用于仿生的活性LCE材料本身也具有智能。将单个材料基元的具身智能与事物整体的“神经中枢”智能结合起来,就能形成一个高级的复杂智能体系。

经过一系列精密推理计算,团队发现双层结构变形结果取决于两层材料之间的指向矢角度差异,即LCE分子的整体取向,并成功构建了LCE双层条带弯曲、扭转和螺旋形貌形成的力学理论模型,与仿生实验和数值计算结果相符。

团队绘制的LCE双层条带弯曲、扭转和螺旋形貌选择相图,揭示了在不同指向矢角度分布下,LCE双层条带受热后产生的变形情况。例如,当上下两层材料指向矢角度之和等于 180° 时,双层结构将只发生手性扭转变形;而当上下层指向矢分别沿长度和宽度方向时,将发生纯弯曲变形;其余指向矢分布情况则扭转和弯曲变形同时发生。

只需根据形貌演化相图调控LCE双层条带之间的指向矢角度,就能获得想要的变形结果。徐凡说:“相当于我们整理了一套菜谱,可以根据现实需要做出不同的菜。”实验表明,手性扭转构形的叶片的水分纵向输运路线最接近直线,且不易弯折,因此集水效率最高,在强风等极端环境下较平直叶片的集水效率提升了一倍。

打造环境智适应仿生植株

在此研究成果基础上,团队成功构建了具有环境智适应特性的仿生具身智能植株——可根据环境刺激自发调控形貌。在光照下升温后,仿生植株叶片将形成手性螺旋扭转形貌,能够提升抗倒伏能力。到了下雨天,雨水沿着曲率叶片表面输送到根部,当收集的水分足够多时,叶片表面温度降低,就会自发解旋,防止过度集水。

徐凡用“道法自然,但又高于自然”评价这一过程:“我们学习自然植物的结构形貌原理,但相较于自然植物生命周期相对固定的生命结构,仿生植物可以在短短几十秒内就实现结构形貌变换。”此外,普通叶片被强风吹倒后难以恢复,而刚度强劲的手性螺旋扭转叶片则可以快速恢复直立状态。团队进一步解析了手性螺旋扭转程度与抗弯刚度之间的定量关系,发现随着扭转角度增大,条带抗弯刚度显著增加。

论文链接:

<https://www.nature.com/articles/s43588-025-00786-w>

实习记者 曾译萱

我校承办全国中高能核物理大会

受中国物理学会核物理分会中高能核物理专业委员会委托,我校承办的第二十届全国中高能核物理大会暨第十四届全国中高能核物理专题研讨会4月24日至28日召开。会议汇聚了来自全国97家高校和科研院所的近500名专家学者,共同探讨中高能核物理领域的最新研究成果与发展趋势。

副校长、本届大会组委会主席马余刚代表复旦大学和本届会议组委会致欢迎辞。他说,中高能核物理是揭示核物质微观奥秘的核心领域。近年来,我国科学家在中高能核物理领域取得了一系列重要研究成果,充分证明了我国在该领域已建立起坚实的研

究基础。通过国际与国内研究的良性互动与协同创新,我国科学家共同推动了物质深层次结构研究新范式的发展。特别是近期LHC四大实验合作组共同获得基础物理学突破大奖,其中包括百余位中国科研工作者,充分体现了我国在粒子物理与核物理研究中的前沿地位以及国际合作的重要性。

大会共安排了23个大会报告、90个分会报告、100余个海报展示和20个Flash报告,围绕强子谱和强子结构、核子结构、超核物理、中高能重离子碰撞物理、QCD相结构、核天体物理等前沿领域展开交流讨论。

来源:现代物理研究所

评估城市垃圾收集设施健康风险

环境科学与工程系李丹课题组以“Emission Dynamics and Public Health Implications of Airborne Pathogens and Antimicrobial Resistance from Urban Waste Collection Facilities”为题,在Environmental science & technology上发表了一篇研究长文(Arti-

cle)。

该项研究揭示了城市WCFs对公众健康存在潜在威胁,为城市环境健康管理提供了重要的科学依据。

论文链接: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.4c12108>

来源:环科系

仿生固态电解质打破刚度-阻尼权衡

材料科学系赵婕课题组和化学系李伟课题组在Angewandte Chemie期刊上合作发表题为“Multiscale Engineered Bionic Solid-State Electrolytes Breaking the Stiffness-Damping Trade-Off”的论文。研究团队受牙釉质超结构的启发,设计并开发出一种仿生复合固态电解质,实现了高刚度和优异的阻尼性能,解决了传统固态电解质中刚度与阻尼难以兼顾的问题。

全固态锂电池因其高安全性和高能量密度,被认为是下一代储能设备的有力竞争者。然而,锂枝晶的生长及电解质/电极界面

机械相容性差等问题严重制约了固态电池的长期循环稳定性。这一刚度-阻尼的倒置关系成为制约固态电解质发展的关键科学问题。

该项研究得到的这种电解质拥有媲美无机固态电解质的刚度,可有效抑制锂枝晶的生长;其阻尼性能接近于聚合物固态电解质,确保了与电极的紧密接触,协同提升了锂离子传输效率。值得一提的是,该仿生策略同样适用于钠离子固态电解质,展现出普适性优势。

文章链接: <https://doi.org/10.1002/anie.202421427>

来源:材料科学系

图片新闻



化学系张凡教授在日本化学会105周年会上获得亚洲特别讲座奖(Asia special lecture)。

来源:化学系

建议环境规制减少“规模依赖性”

经济学院陈诗一、梁恩东与浙江财经大学合作,在JEEM发表题为“Size-dependent environmental regulations and spatial labor allocation”的论文。

文章使用量化空间一般均衡

模型研究“规模依赖型”环境政策的影响。发现通过减少中国现有环境规制的“规模依赖性”,可以同时实现更高的总产出和更低的总排放。此外,为了达成给定的总体减排目标,推动中小城市进

一步加强规制可能是更好的政策选择。

Journal of Environmental Economics and Management 是环境经济学领域的顶尖期刊,最新影响因子为5.5。来源:经济学院