

液。德国马克斯·普朗克胶体与界面研究所 Mariella Gabler、Franziska Jehle 等发现,这些材料并非来自 5 套不同配方,而是由相近的蛋白质和钙基组分经过浓度调节、交联、矿化及结构加工形成。2026 年 8 月 6 日,相关成果发表于《Science》。

动物体内的黏液通常用于润滑组织或阻挡病原体,但陆生蜗牛把黏液分泌到体外,制成具有不同功能的材料。爬行黏液受剪切时容易流动,能够降低运动阻力,静止时又接近固体,使蜗牛不会轻易从表面滑落;黏附膜可将壳口边缘固定在木材、玻璃和金属等表面;休眠膜则构成抵御干旱和低温的封闭屏障。

受到刺激时,蜗牛还会释放 2 种防御黏液。黄色黏液黏性强、延展性和抗撕裂能力较高,可以黏住小型捕食者;泡沫黏液则可能将甲虫等小动物冲出或闷在壳外。研究人员观察到,蜗牛会从呼吸孔向分泌物中吹入空气,使蛋白质网络包裹气泡,形成多尺度泡沫结构。



森林葱蜗牛 (*Cepaea nemoralis*)

(图片来源: H. Zell/Wikimedia Commons)

研究团队结合蛋白质组学、流变测试、X 射线衍射、光谱分析和电子显微成像,对 5 种黏液进行比较。结果显示,尽管这些分泌物的形态和功能差异明显,其结构蛋白组成却高度相似,VI 型胶原蛋白是主要承力组分之一。VI 型胶原蛋白在人类皮肤、骨骼和关节中承担组织支撑作用,此前并未被认为是蜗牛多功能黏液的核心骨架。

不同黏液的主要差别在于总蛋白浓度和 VI 型胶原蛋白所占比例。爬行黏液的蛋白浓度约为 0.3%,黄色防御黏液则接近 4%。蛋白质含量越高,形成的网络通常越致密,黏液也越坚韧、黏稠。由此,蜗牛只需改变相同“分子积木”的配比,就能在润滑和强黏附等看似矛盾的功能之间切换。

钙为材料调控增加了另一个维度。研究人员在蜗牛的黏液分泌腺中发现无定形碳酸钙颗粒。对于保持湿润的黏液,这些颗粒可能释放二价钙离子,交联带电的蛋白质和多糖链,增强材料的黏聚力和抗剪切能力;在逐渐干燥

的休眠膜中,无定形碳酸钙进一步转化为方解石晶体,将柔软的蛋白网络强化为坚硬但较脆的矿化屏障。

研究还表明,材料性能不仅取决于化学组成,也与分泌和加工过

程有关。2 种防御黏液的蛋白配方相近,但黄色黏液形成纤维网络,泡沫黏液中的胶原蛋白则聚集在气泡周围,最终产生不同的力学响应。

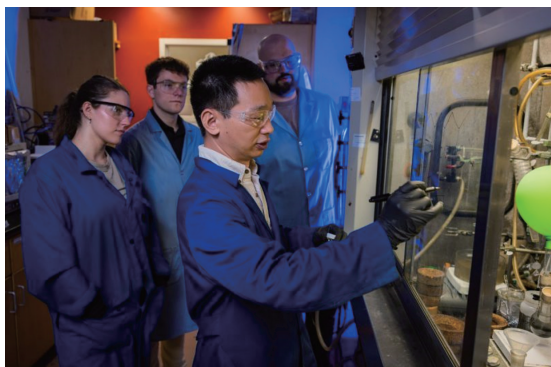
(综合:《Science》、马克斯·普朗克胶体与界面研究所官网)

废 PVC 在 70℃ 下变成高黏度润滑油

美国弗吉尼亚理工大学刘国良团队联合得克萨斯农工大学、加州理工学院等机构,开发出一种低温化学转化方法,可将废聚氯乙烯(PVC)制成高性能聚 α -烯烃(PAO)润滑基础油。8 月 5 日,相关研究成果发表于《Nature》。

PVC 具有质量轻、强度高、耐腐蚀和阻燃等特点,全球年产量约 6000 万 t,广泛用于管道、门窗、电缆、信用卡和医疗用品。其结构中约 57% 的质量来自氯,还常含有增塑剂、稳定剂和填料。机械回收难以消除添加物影响,焚烧和热解又可能生成氯化氢等腐蚀性物质,使 PVC 成为较难循环利用的通用塑料之一。

研究人员没有像传统路线那样先完全脱除氯,再处理剩余碳链,而是把 PVC 中的碳—氯键作为反应“入口”。在三氯化铝作用下,PVC 与 α -烯烃在 70℃ 反应约 3 h,同时发生脱氯、烷基化和可控链断裂。氯离去后形成的活性碳位点与 α -烯烃结合,使原本较长的 PVC 骨架逐步转变为尺寸适合润滑油的烃类分子。产物经过加氢处理后,可得到较为稳定的 PVC 衍生 PAO。



研究人员检验由塑料废料制成的发动机油样本
(图片来源:弗吉尼亚理工大学)

分析显示,该过程的脱氯率超过 99.98%,润滑油中的残余氯含量低于 100 ppm。量子化学和分子动力学模拟表明,PVC 骨架在反应中相当于分子模板,引导 α -烯烃在多个位点接枝,形成主链相对平直、短支链较少的“梳状”结构。这种结构既能保持一定黏度,又可减小温度变化对流动性的影响,且不需要传统 PAO 生产中常用的茂金属催化剂。

通过改变 α -烯烃种类和反应条件,研究人员可以调节产物的分子量和支化程度。所得润滑油在 100°C 下的运动黏度为 14.9~26.3 mm²/s,黏度指数最高达到 130;摩擦系数约为 0.08~0.15,部分磨损测试结果优于研究选取的商业 PAO。黏度指数越高,意味着润滑油在温度变化时越能保持稳定黏度。

该方法还被用于处理 PVC 管道、信用卡、手套和塑料玩具等真实废料。研究人员先对废料进行提取和净化,减少增塑剂、填料及其他添加物的干扰,再将回收的 PVC 转化为润滑油。

(综合:《Nature》、弗吉尼亚理工大学官网)

“悟空号”把宇宙线镍能谱测量拓展至 2 TeV/n

中国科学技术大学常进团队利用“悟空号”暗物质粒子探测卫星(DAMPE)9 年的观测数据,获得 10 GeV/n~2 TeV/n 能段的宇宙线镍核微分通量谱,将镍元素能谱测量首次拓展至 TeV/n 量级。7 月 28 日,相关研究成果发表于《Physical Review Letters》。

宇宙线是穿行于银河系的高能带电粒子,其能谱记录了粒子从产生、加速到在星际空间传播的过程。GeV/n 和 TeV/n 表示每个核子的能量,采用这一单位可以比较不同质量原子核的能谱特征。能谱中通量随能量变化的规律及其转折结构,是寻找宇宙线起源和研究高能粒子加速机制的重要依据。

镍的原子序数为 28,是宇宙线中丰度最高的超铁元素之一。铁和镍主要形成于超新星热核爆炸及大质量恒星爆炸时的硅燃烧过程,其相对丰度可以反映恒星核合成和爆炸环境。然而,镍核通量比铁核低至少一个数量级,并且能量越高,可探测到的粒子越少。受统计量和探测器性能限制,此前多数实验只能测量超铁元素的相对丰度。

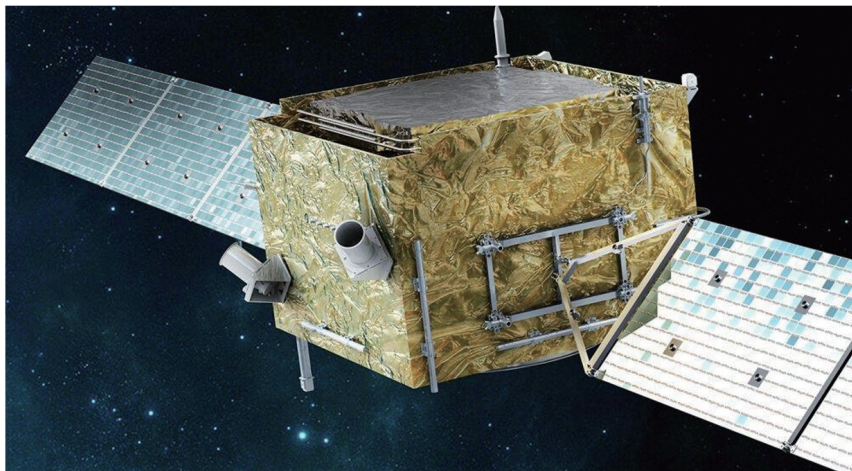
镍的原子序数为 28,是宇宙线中丰度最高的超铁元素之一。铁和镍主要形成于超新星热核爆

炸及大质量恒星爆炸时的硅燃烧过程,其相对丰度可以反映恒星核合成和爆炸环境。然而,镍核通量比铁核低至少一个数量级,并且能量越高,可探测到的粒子越少。受统计量和探测器性能限制,此前多数实验只能测量超铁元素的相对丰度。

“悟空号”自 2015 年底发射以来已在轨运行超过 10 年,累计记录近 200 亿个高能粒子。其覆盖能段宽、能量测量精度高、粒子甄别能力强,为低丰度元素的高能段测量提供了足够统计量。

研究结果显示,镍能谱在约 40 GeV/n 附近出现与质子、氦核和铁核相似的软化特征。10 GeV/n 至 2 TeV/n 范围内,镍核与铁核能谱形态高度相似,镍铁通量比可近似用常数 0.057 ± 0.002 描述。这意味着随着能量升高,2 种元素的相对丰度基本不变,支持它们具有相近的天体来源、加速过程和传播机制,但尚不能据此锁定具体宇宙线源。

(综合:《Physical Review Letters》、中国科学技术大学官网)



“悟空号”暗物质粒子探测卫星在轨运行示意图。该卫星通过测量高能粒子的电荷、径迹和沉积能量,获得宇宙线镍核能谱

(图片来源:DAMPE 合作组/INFN)