

# 向金属氢冲刺的重要一步

■本报见习记者 池涵 记者 闫洁

80多年前,有人预测氢在高压下会演变出一种“神奇”的物态——金属氢。自得到理论预测以来,人工制造出金属氢是高压物理学界首屈一指的核心挑战,对金属氢的追求推动着高压科学的技术发展。

近日,由北京高压科学研究中心(HPSTAR)主任毛河光领导的科研小组,与国外科学家合作,采用金刚石对顶砧(DAC)技术以及自主研发的同步辐射X射线衍射相关技术,首次在220万个大气压以上实现了对固态氢第四相的晶体结构精确测量。

毛河光告诉《中国科学报》,此项工作破解了长期困扰高压氢研究中的最基本、最亟须解决的技术难题,将此前法国和美国科学家合作保持的压力纪录提高了一倍,为今后直接测量超高压下固态氢以至金属氢的晶体结构提供了一个切实可行的技术手段。相关成果发表于《自然》。

## “高压物理圣杯”的杯座

氢是宇宙中含量最丰富的元素。在常压下,两个氢原子结合形成氢分子。科学家预测,氢在25 GPa的高压下会变为金属氢。

毛河光表示,这种材料具有超高的能量密度,理论预测是室温超导体和超流体,甚至可能是未知的物理机制操控的一种新颖的凝聚态。同时,金属氢也被认为是氢在木星、土星等大行星中的一种重要的存在形式。

因此,有人将金属氢称为“高压物理的

圣杯”。近一个世纪以来,高压学者通过不懈努力,已经使高压技术所能达到的压力接近理想中的条件,并在这一过程中发现了许多种氢的高压新相。

然而,时至今日,人类还未实现静态高压下金属氢的相变,后来的研究认为金属氢相变的压力至少要达到500 GPa。

500 GPa是什么概念?文章第二作者、北京高压科学研究中心研究员李冰告诉《中国科学报》,地心的压力约为360 GPa。

这么高的压力要如何才能得到?李冰表示,金刚石对顶砧压机用两颗顶对顶放置的金刚石相互施压,可以产生约400 GPa极限静态压力,这是达到如此高的静态压力的唯一手段。

文章第一作者、北京高压科学研究中心研究员吉诚告诉《中国科学报》,目前金属氢的研制已经进入白热化阶段,这几年不断有研究小组声称合成了金属氢,但是在业内难以得到共识。很大一个原因是在极端条件下由于物理限制,往往测量手段匮乏,测量结果的准确性也不尽如人意。

如果说金属氢是圣杯,高压下氢结构的同步测量就好比圣杯的杯座。最近发展的基于同步X射线辐射的显微聚焦探针是解决这一困难的有效手段。

## 在头发丝上“打怪升级”

毛河光提到,在金刚石对顶砧上进行氢结构的同步单晶X射线衍射测量要面对几个艰难的挑战。

首先,氢渗入钻石表面导致“氢碎”,在用传统的方法进行实验时,研究人员发现,最多到160GPa,钻石砧就会破碎。

“我们的论文报道了22组实验的数据,但实际上我们做了100多组实验,耗费了几百颗钻石。”吉诚说。

而且,由于氢的X射线散射截面是所有元素中最小的,因此衍射信号很弱,而采用金属铍、钨等做成的传统封垫会形成强烈的干扰,即使运用最新一代同步辐射光源,利用X射线衍射法测量固态氢在百万大气压以上的晶体结构也面临巨大的挑战。

因此,曾有国外科学家断言,此类实验是不可能实现的。

为此,研究人员开发了一种用氧化镁或立方氮化硼和环氧树脂制成的复合材料封垫。由于氧化镁或立方氮化硼是X射线衍射强度弱的材料,而环氧树脂是非晶体,这种封垫产生的衍射信号极弱,用其将氢样品封装可以一举两得,既解决“氢碎”的问题,又解决了金属封垫的信号干扰,使捕捉来自氢的微弱X射线衍射信号成为可能。

虽然封垫信号干扰和极限压力的问题解决了,如何才能测出在超高压下破碎成粉末的氢的X射线衍射呢?样品的尺寸太小了,只有5微米的直径和1微米的厚度。相比之下,一根头发丝都有40微米直径。

乐在其中的吉诚把研究过程看成了“打怪升级”。

最终,毛河光带领研究小组通过运用高亮度亚微米聚焦X射线束(300纳米)以及多通

道准直器技术,在使用复合封垫的样品中成功采集了从20 GPa至250 GPa的氢的X射线衍射数据,涵盖了氢的第一、三及第四相。

## 离金属氢又近了一步

毛河光告诉《中国科学报》,之前在X射线“隐形”的高压氢结构得以测量,从而使他们成功解出了氢第四相的晶体结构。令人惊讶的是,氢分子仍以类似雪花一样的六方对称排列。经历了两次等结构相变后,六方的氢分子晶体在高压下逐渐被压扁,从而导致电子结构的转变成第四相。

“第四相是连接正常固体氢与奇特金属氢的一个关键物相,因而我们必须理解它的晶体结构。”吉诚说。

毛河光说,此研究暗示等结构电子相变有可能是固态氢众多相变的一种通用形式,为理解氢在高压下的相变途径提供了一种新的思路。

“氢的金属化问题一直以来是高压科学的焦点和热点,但其根据都是样品变黑、不透明、反光、导电等单项间接表征,而且都是孤例,没有重复验证。我们将不致力于在实验室条件下‘创造’出金属氢,更重要的是对其进行可靠的表征,以发现和理解金属氢的新奇的物理形态和特性,为拓宽对物理理论的认识提供可靠的实验参照。”毛河光说,“此项工作是向从晶体结构上理解金属氢迈出的坚实的一大步。”

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1565-9>

## 简讯

### 中科院研究所走进北京小学开展科普活动

本报讯 近日,北京市西城区五路通小学举行科技月活动启动仪式,此次活动以“小小研究员,未来科学家”为主题,旨在通过实验展示,引导学生主动发现、自主探究,增强学习科学知识的热情与信心。活动由五路通小学主办,中科科技培训中心承办。

中国科学院院士、中科科技培训中心主任刘嘉麒在致辞中回顾了自己的童年,表示小学是未来成长的基础,劝告大家珍惜少年时光,努力学习、夯实基础。

据了解,科技月活动将会持续4周,中科院声学所、力学所、生物物理所、国家纳米科学中心等机构的研究人员将走进校园进行展示教学。(刘如楠)

### 首届全国系统生物学大会在上海举行

本报讯 为期两天的第一届全国系统生物学大会近日在上海交通大学举行。本次大会以“系统生物学:从基础研究到健康科学”为主题,与会专家从4P医学、定量生物学、表型组学、基因组学、微生物组学、计算生物学等多角度多维度对系统生物学进行阐释,实现跨学科跨领域的学术交流与思想碰撞。

围绕大会主题,本次大会开设分子系统生物学、系统生物医学和计算系统生物学3个平行分会场,安排和挑选共计57个分会场报告和14个青年报告,就系统生物学研究理论策略、技术方法和转化应用以及如何运用系统生物学造福人类等问题展开讨论。(黄辛)

### 世界高速列车最高速实车碰撞试验在青岛完成

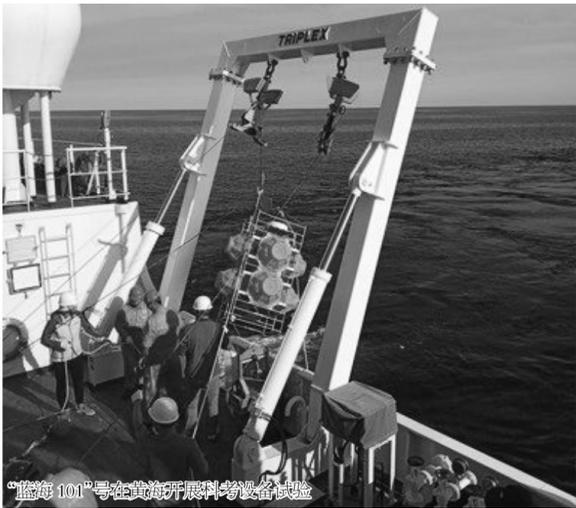
本报讯 近日,世界高速列车最高速实车碰撞试验在青岛完成,速度达到76公里/小时。中车四方股份公司在轨道车辆碰撞试验台上成功完成了高速列车实车车体级碰撞试验。此次试验的成功,标志着我国在高速列车被动安全技术领域达到世界先进水平。

据了解,中车四方轨道车辆碰撞试验台建成于2017年,是目前国内轨道交通行业速度最高,并且实现无部件、整车全覆盖的碰撞试验台。(廖洋)

### 第二届广东科普嘉年华即将启动

本报讯 近日,第二届广东科普嘉年华新闻发布会在广州举行。记者从会上获悉,由广东省科协、广东省科技厅、中国科学院广州分院、广东省科学院等11个单位共同主办的“第二届广东科普嘉年华暨2019年全国科普日广东主场活动、广东省科技进步活动月”将于10月12日在广东科学中心启动。

据介绍,本届科普嘉年华活动以“礼赞共和国 智慧新生活”为主题,秉承“创新、协调、绿色、开放、共享”理念,围绕航天科技、人工智能、5G技术、物联网等前沿科技热点及环境保护、卫生健康等民生领域热点问题,以多元展示、互动体验、快乐参与为主要形式,活动将分为6个板块,包括未来漫步太空板块、未来万物互联板块、未来FUN生活板块等。(朱汉斌)



“蓝海101”号在黄海开展科考设备试验

日前,黄海水产研究所“蓝海101”号海洋渔业综合科学调查船在黄海开展了功能性海试,海试设备主要包括渔业资源锚系声学观测系统、浮游生物多联网和渔业资源底层拖网等。

据介绍,自“蓝海101”号停靠青岛母港之后,已组织过2次海试,进行了多种仪器设备的使用培训工作,为走向远海、走向深蓝提供了有力保障。(廖洋)



“蓝海101”号在黄海开展拖网试验

黄海水产所供图

## 第23届国际被动房大会在河北举行

本报讯(记者高长安)10月9日,第23届国际被动房大会暨第五届中国(高碑店)国际门窗博览会在河北省高碑店市开幕。

来自50多个国家的700多位专家围绕被动房前沿理论、技术、项目等方面展开研讨与交流。

被动房是一种全新节能建筑概念,通过充分利用可再生能源,使所有消耗的一次能源总和不超过120千瓦·小时/(平方米·

年)。被动房于上世纪90年代在德国兴起,已成为当今世界绿色建筑的标准。

“健康中国”建设已经上升为中国的发展战略,“健康中国”的因素涉及很多方面。其中,“健康建筑”就是其中一个重要的因素。“中国工程院院士侯立安在会上演讲时表示,在建设“健康中国”的宏伟背景下,在国家、社会、企业和每一个人的共同努力下,“健康建筑”必将具有广阔的发展前景。

国际被动房大会组委会主席沃尔夫冈·菲斯特说,被动房建设现在已经遍及全球,被动房的节能技术是减少建筑能耗的关键,将带来一个全新的可持续能源需求未来。

会议期间,与会人员实地参观了奥润顺达集团住宅公园体验中心、中国国际门窗城、梦之行院士工作站、国家超低能耗建筑产业基地等观摩项目。

## “航空地质一号”完成5万测线千米调查

本报讯(记者冯丽妃)为期三天的第二十一届中国国际矿业大会10月9日至11日在天津举行。其间,自然资源部中国地质调查局的“航空地质一号”固定翼飞机模型亮相大会展会。

“这是‘航空地质一号’的1:10模型。”大会展会上,中国地调局航空物探遥感中心教授级高工、该飞机副总工程师陈斌告诉《中国科学报》,“航空地质一号”是目前全球唯一的集重力、磁力、航空摄影、高光谱遥感等于一体的航空物探遥感综合测量平台,在航空物探、航空遥感调查等方面性能达到国际领先水平。

据介绍,该机具有双发增压、安全平稳、节能环保、长航程、超低空飞行性能,能够同时开展航空重力、磁力、电磁场、航空高光谱、航空遥感摄影等多种方法调查,可在沙尘、低温、湿热、盐雾、昼夜、复杂气象条件下工作,既可用于高山、高原区的航空物探遥感调查,也可用于低海拔的平原丘陵和海域地质调查工作,可用于基础地质、能源、

矿产、灾害应急、自然资源管理和规划等多个领域。其间,自然资源部中国地质调查局的“航空地质一号”固定翼飞机模型亮相大会展会。

“这是‘航空地质一号’的1:10模型。”大会展会上,中国地调局航空物探遥感中心教授级高工、该飞机副总工程师陈斌告诉《中国科学报》,“航空地质一号”是目前全球唯一的集重力、磁力、航空摄影、高光谱遥感等于一体的航空物探遥感综合测量平台,在航空物探、航空遥感调查等方面性能达到国际领先水平。

据介绍,该机具有双发增压、安全平稳、节能环保、长航程、超低空飞行性能,能够同时开展航空重力、磁力、电磁场、航空高光谱、航空遥感摄影等多种方法调查,可在沙尘、低温、湿热、盐雾、昼夜、复杂气象条件下工作,既可用于高山、高原区的航空物探遥感调查,也可用于低海拔的平原丘陵和海域地质调查工作,可用于基础地质、能源、

矿产、灾害应急、自然资源管理和规划等多个领域。其间,自然资源部中国地质调查局的“航空地质一号”固定翼飞机模型亮相大会展会。



“航空地质一号”资料图

地调局供图

该飞机将广泛应用于基础地质调查、矿产资源调查、地质灾害应急调查、土壤质量调查、生态地质调查等多个领域,在支撑国家能源、矿产、水和其他战略资源安全保障,服务生态文明建设和自然资源管理工作中发挥重要作用。

## 发现·进展

### 中科院上海有机所等

## 实现“驾驭”二氟卡宾

本报讯(记者黄辛)中科院上海有机化学研究所张新刚课题组和美国加州大学洛杉矶分校课题组合作,首次通过钼金属完成了二氟卡宾亲核与亲电反应性调控并可调控地用于有机合成中,实现了对二氟卡宾的“驾驭”。通过钼金属的价态调控,研究人员使亲核和亲电型钼二氟卡宾共存于同一反应体系中,并选择性生成不同含氟产物。该成果近日发表于《自然—化学》。

二氟卡宾是重要的化工中间体,但其固有的亲电性却使其反应类型相当有限,并且活泼的反应性使二氟卡宾很难应用于可控的有机合成反应。因此,如何“驯服”并“驾驭”二氟卡宾这匹“野马”,一直是有机关化学的挑战。

此前,张新刚课题组利用钼作为催化剂发现了首例金属二氟卡宾参与的催化偶联反应,并实现了首例大宗廉价氟化工原料—氯二氟甲烷的高效催化转化。在其研究基础上,研究人员利用上述概念,以钼为催化剂,以简单易得的溴二氟甲基膦酸酯为二氟卡宾前体,通过对反应条件的精细调控,实现了对芳基膦酸酯化合物的选择性氟烷基化,包括在医药和农药研发中有重要应用的二氟甲基、四氟乙基芳香化合物和它们的膦类化合物。

该系列发现为钼二氟卡宾参与的催化偶联反应奠定了重要理论基础,为理解其他金属二氟卡宾化学提供了新视角,也为二氟卡宾反应性的调控开辟了新的路径。

相关论文信息:  
<http://dx.doi.org/10.1038/s41557-019-0331-9>

### 西安交大等

## 突破特高压输电关键技术

本报讯(记者张行勇)近日,世界上电压等级最高(电压等级1000千伏)、输送容量最大(总输电容量达1000万千瓦)、技术水平最高(埋深最深、水压最高、管径总长最大)和安装精度最高的超长距离GIL创新工程——苏通1000千伏特高压交流GIL综合管廊工程建成投运,实现了世界电网技术的新跨越,是世界领先的开创性输电工程。西安交通大学电气工程教授彭宗仁团队及合作者,攻克了工程中特高压交流GIL输电绝缘和放电等关键核心技术问题。

研究人员掌握了GIL绝缘材料、界面材料及导电材料的电热特性,获得了典型结构工程应用方案的多物理场分布规律,提出了均压、均场、消除界面效应的方法和途径,给出了引发绝缘子气—固界面放电的影响因素。该团队还提出了绝缘子本体放电烧蚀和碳化的成因,优化了GIL绝缘子配置方式和均压屏蔽结构型式,实现了特高压GIL绝缘子多物理场分布均匀化、结构合理化,取得了一系列创新性成果,为世界首条特高压GIL输电装备自主研发、质量提升、试验考核和安全可靠运行提供了重要依据,具有重大的技术、经济和社会效益。

### 中科院大连化物所等

## 用纳米反应器对胰腺癌进行诊断

本报讯(记者刘万生)中科院大连化物所研究员刘健团队与上海交通大学研究员钱昆团队合作,将多功能氧化硅铂基纳米反应器用于胰腺癌检测,可以同时实现代谢物的即时检测和分子分型。研究成果近日发表于《物质》。

2017年,美国胰腺癌致死率高达98%,有“癌症之王”称号。有效的早期诊断可以将胰腺癌五年生存率提高到67%。然而,目前临床在用的针对胰腺癌的血液检查只针对CA19-9等特定蛋白生物标志物,临床应用中发现其特异性仅约30%。

纳米反应器能够提供一种微/纳米尺度的空间,使低浓度生物标志物的富集浓缩反应受限于微纳空间范围内,从而有效将低丰度样本转化为高丰度样本。研究人员基于对纳米反应器构筑的基础,以多功能铂纳米反应器为核心,构建了代谢物即时检测和分子分型的多功能平台。优化后的反应器有两个特点,一是具有高效催化活性,实现如葡萄糖等特定代谢标志物的显色检测,全程仅需5分钟;另一个是结合激光解吸电离质谱法分析血液代谢组,实现了胰腺癌的精准、无创液体活检,诊断灵敏度达84%,特异性达92%。

本项工作为纳米反应器的医学诊断应用提出了新思路,不仅对胰腺癌患者的代谢变化提供了新见解,而且为疾病的精确诊断提供了潜在可能。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1016/j.matt.2019.08.014>

### 中科院微生物所

## 创建新生物光伏系统

本报讯(记者冯丽妃)中科院微生物所研究人员设计并创建了一个具有定向电子流的合成微生物组,解决了蓝藻直接产电活性微弱的问题,提高了生物光伏(BPV)光电转化效率。相关成果近日在线发表于《自然—通讯》。

随着能量转化效率的不断提升和制造成本的不断降低,全球太阳能光伏装机容量累计已超过500GW。但部分光伏材料含有毒元素,废弃太阳能电池板总量大且难以回收,此外,光伏器件制造过程涉及有毒有害化学品的使用。

研究者创建的合成微生物组由一个能够将光能存储在D-乳酸的工程蓝藻和一个能够高效利用D-乳酸产电的希瓦氏菌组成。蓝藻吸收光能并固定CO<sub>2</sub>合成能量载体D-乳酸,希瓦氏菌氧化D-乳酸进行产电,由此形成一条从光子到D-乳酸再到电能的定向电子流,完成从光能到化学能再到电能的能量转化过程。

研究人员克服了两种微生物之间生理不相容的问题,创建的双菌生物光伏系统实现了高效稳定的功率输出,其最大功率密度达到150mW/m<sup>2</sup>,比目前的单菌生物光伏系统普遍提高10倍以上。采用连续流加培养方式,该双菌生物光伏系统可稳定实现长达40天以上的功率输出。该研究打破了人们对生物光伏效率和寿命难以提高的固有认识,为进一步提升BPV光电转化效率奠定了重要基础。

相关论文信息:  
<http://doi.org/10.1038/s41467-019-12190-w>