

合肥物质院

稳态强磁场实验装置:

探索科学宝藏的“国之重器”

■本报见习记者 高雅丽

2008年5月,由中科院合肥物质院强磁场科学中心承担的稳态强磁场实验装置项目启动;2011年7月,试验磁体通电测试成功;2016年11月,混合磁体大口径外超导磁体研制成功;2017年2月,专家组对混合磁体工艺测试完成验收;2017年9月27日,“稳态强磁场实验装置”通过国家验收,验收专家组给予了很高评价,认为项目全面完成了建设目标,各项关键参数达到或超过设计指标,“技术和性能达到国际领先水平”。

九年时间里,强磁场的科研人员完成了一个又一个跨越,使我国成为国际五大稳态强磁场研究机构之一,中国的强磁场科学技术事业迈上了一个新台阶。



①2016年底混合磁体首次调试成功。②安装在水冷磁体上的扫描隧道显微镜。③混合磁体。



“极端条件就是把不可能变成可能”

高秉钧是中科院强磁场科学中心首席科学家,也是“稳态强磁场实验装置”项目总工程师。他对《中国科学报》记者说:“物质在强磁场情况下会改变它本身的电子态,从而产生新的现象。强磁场是一个极端条件,我们在设计和研制稳态强磁场实验装置过程中,常会遇到许多难以克服的困难,甚至是无路可走。我们必须坚持不懈,实现超越,把不可能变成可能。”

强磁场是调控物质量子态的重要参量,在发现新现象、揭示新规律、探索新材料、催生新技术等方面具有不可替代的作用。自1913年以来,已有多项与磁场相关成果荣获诺贝尔奖,因此,强磁场极端条件已成为科技界公认的探索科学宝藏的“国之重器”。我国因缺乏相应的强磁场条件,屡次错失在物质科学等诸多领域开展前沿探索的机遇。

据了解,“稳态强磁场实验装置”是一个针对多学科实验研究需要的强磁场极端实

验条件设施,包括十台强磁场磁体装置和六大类实验测量系统。

混合磁体由内部水冷磁体和外部超导磁体组合而成,是追求更高稳态极磁场的首选,但此前国际上已有多个失败案例,而我国在高场超导磁体技术方面的基础较为薄弱,项目所有科研人员都面临着巨大挑战。

对水冷磁体而言,必须解决材料和结构的优化选择,巨大电磁力和发热问题,与之配套的数百万瓦级的稳态直流电源系统、低温冷却系统、去离子水冷却系统等均是一个个不容置疑的难关。

谨慎起见,超导磁体组决定先研制一款磁场强度低、口径小,但选材、加工工艺完全相同的试验磁体,试验磁体在2011年7月通电测试成功。混合磁体研制真正开始之后,所有科研人员都秉持着一种谨慎严肃的工作态度,为了达到验收要求而不断努力着。

国际领先水平的科学实验系统

水冷磁体 WM1 原设计是超世界纪录的 38.5T,但在磁体组装后的预测测试中,科研人员却发现磁场强度比预期的要低得多,且已是板上钉钉,超纪录无望了。水冷磁体总设计师高秉钧带领工作人员排查原因,最终发现绝大部分 bitter 片厚度不是原设计的 0.27 毫米,而是 0.29-0.30 毫米。

高秉钧说:“面对几千片 bitter 片,我们就用天平称重、算体积,来实测每片的实

际厚度。将实测厚度的 bitter 片优化配置,重新组合,使组装的磁体达到原设计的目标。”这样,WM1 最终实现了 38.5T 的磁场强度,打破水冷磁体场强世界纪录。

2016 年底混合磁体首次调试,磁场强度达到 40 特斯拉,符合工程验收指标。就在科研人员欢欣鼓舞之时,磁体系统却发生了故障。春节将至,项目组的人却集中在场地,不断调试设备排除故障。

大年三十上午八点,装置准时通电测试,所有人在文化走廊吃了一顿简单而又难忘的“年夜饭”。但是那天因为降温没到位,再一次失败了。项目组的科研人员在春节假期继续加班,大年初四,混合磁体终于通电励磁,再次成功。

经过多年自主创新,强磁场研制团队打破国际技术壁垒,成功克服关键材料国际限制、关键技术国内空白等重大难题,建成继美国之后世界第二台 40T 级混合磁体,建立了国际领先水平的科学实验系统,实现了我国稳态强磁场极端条件的重大突破。

“边建设边开放”的管理新模式

强磁场下的应用研究对于高技术产业具有很强的催生和带动作用,“强磁场效应”其实就在我们身边。

高秉钧介绍说:“大家都比较熟悉的医院的核磁共振成像、磁悬浮列车等就运用了强磁场技术。此外,强磁场在化学合成、特殊材料、生物技术、医药健康等多种新技术研发方面都有可能发挥关键作用,孕育新的发明。”

据了解,强磁场有助于促进多学科交叉研究,尤其是生命科学、物理学、材料与化学、新技术之间的交叉研究。2014 年,合肥物质院技术生物所吴跃进研究员和强磁场科学中心钟凯研究员合作,研究了造影剂对水稻生长的潜在影响,并用磁共振成像技术获得了造影剂在根系中的动态信息。这也是世界上首次利用造影剂研究磁共振成像技术在水稻根系无损检测中的应用,为植物根系研究提供了一种新的研究方法。

“稳态强磁场实验装置”国家验收意见中写道:“项目提出了一种水冷磁体设计创新方案,发展了一套全程可量化检测的高精度装配工艺。建成的水冷磁体中有三台磁体的性能指标创世界纪录,其中两台保持至今;突破了 800 毫米室温孔径,磁场强度达 10 特斯拉的铌三锡超导磁体研制的技术难关,建成了 40 特斯拉稳态混合磁体装置,磁场强度世界第二;建成了国际首创水冷磁体扫描隧道显微镜系统、扫描隧道—磁力—原子力组合显微镜系统,以及强磁场下低温、超高压实验系统,使得我国稳态强磁场相关实验条件达到国际领先水平。”

在中科院“十二五”验收中,“强磁场科学与技术”重大突破入选院“双百”优秀。2017 年 3 月,中共中央政治局委员、国务院副总理刘延东视察装置,对团队取得的成绩给予了充分肯定。

同时,项目提出并实践了国家大科学装置“边建设边开放”管理新模式。从 2010 年试运行以来装置已经为包括北大、复旦、中科大、浙大、南大、中科院物理所、中科院固体物理所、上海生科院、福建物构所等在内的百余家用户单位提供了实验条件,有力支撑了强磁场前沿研究,产出了一大批具有国际影响力的科研成果。

随着稳态强磁场装置工程建设的推进,一支能打硬仗的强磁场技术攻关队伍在锻炼中成长。稳态强磁场实验装置将成为科学研究、科技发展的创新源头,将为合肥综合性国家科学中心的建设贡献更多的科技力量。

进展

武汉物数所

首次实现两个异核原子的量子纠缠

本报讯 近日,中国科学院武汉物理与数学研究所研究员詹明生领导的研究团队利用里德堡原子的偶极—偶极相互作用,首次成功实现了一个铷-85 原子和一个铷-87 原子的量子纠缠,以及基于这两个原子的量子受控非门。相关研究发表在《物理评论快报》上。

理论推测,不同粒子间的量子纠缠广泛存在于各种量子复合体系,包括玻色—玻色混合体系、捕光复合体和光反应中心复合物组成的光合系统等。操控不同粒子间的纠缠对于模拟和理解强关联的多体相互作用体系、分数量子霍尔态以及多自旋相互作用体系中量子位相的传输等都有着非常重要的意义。而实验实现两个不同粒子的量子纠缠是基础且关键的一步。

詹明生研究组副研究员许鹏和博士生曾勇等人在前期完成的异核单原子囚禁的基础上,利用 480 纳米和 780 纳米的激光将铷原子相干激发到了到主量子数为 79 的高里德堡态。他们充分利用铷-85 和铷-87 在光谱频率上的差别,在原子间距在 3.8 微米时依然实现了对单个原子的寻址及完备操控。相比同种原子体系,他们实现了更为优越的串扰抑制,更强的里德堡态原子间的偶极—偶极相互作用和更高效的里德堡阻塞。在此基础上,他们在国际上首次实现了异核原子间的量子受控非门和量子纠缠。

该工作不仅展示了异核体系在寻址和抑制原子间操作串扰方面的优势,从而推进多组分原子的量子计算方案,而且为基于异核里德堡原子体系模拟复杂自旋相互作用模型铺平了道路。该工作结合原有的同种原子量子门操控手段奠定了多组分相互作用体系量子操控的基础。

该研究得到了科技部重点研发计划、中科院战略性先导科技专项和国家自然科学基金委项目的资助。(高雅丽)

过程工程所

开创多壳层空心结构普适合成方法

本报讯 近日,中科院过程工程研究所研究员王丹课题组合开创了多壳层空心结构的普适合成方法——“次序模板法”,相关研究结果发表在《先进材料》上,并被选为该期杂志的内封底。

王丹及其合作者在以往成果的基础上,进一步改进了“次序模板法”,通过对 Co/Mn 离子摩尔比的调变,调控吸附了金属离子的碳球在煅烧过程中的晶化速率,实现了对复合金属氧化物多壳层空心球壳层数的控制,成功制备了七壳层的空心球。

碱性二次电池具有高的功率密度与能量密度,能够发生快速可逆的表面氧化还原反应,广泛应用于各种电力系统中。过渡金属氧化物纳米材料由于具有大比表面积、高法拉第电容,作为电极材料获得了科研人员的特别关注。但是,纳米颗粒容易团聚,会导致电化学活性表面面积的降低,从而增加固相扩散的电阻。多壳层空心球的独特结构有助于攻克这一难题。

得益于复合金属氧化物的协同作用,以及多壳层空心球的大比表面积和孔体积等结构特征,该七壳层空心球用作电极材料能够提供更多的活性位点,并有利于电解质的传输,表现出优异的电荷存储性能和卓越的稳定性。

在三电极系统中,七壳层空心球的比容量达到了创纪录的 236.39 mAh g⁻¹(电流密度 1Ag⁻¹),循环 2000 次后仍能保持 96.07% 的容量;在碱性二次电池系统中,七壳层空心球的比容量高达 106.85 mAh g⁻¹(电流密度 0.5 Ag⁻¹),循环 3000 次后仍能保持 84.17% 的容量。该成果为多壳层空心结构的可控合成,以及高效能源材料的研发开辟了新路径。(沈春蕾)

现场

青海盐湖所

一堂别开生面的化学课

10月18日,民和县杏儿藏族乡日扎村中学九年级教室,90多名学生正聚精会神地关注一堂别开生面的化学课:如何在不用明火的情况下把物质点燃?

只见来自中科院青海盐湖所的博士黄东方手持一根细细的玻璃棒,先用玻璃棒在分别装有硫酸和高锰酸钾的两个烧杯中沾了一些液体,然后在另一个烧杯内放入沾有酒精的棉花,再用玻璃棒轻触棉花,棉花瞬间熊熊燃烧起来,在同学们的一片惊叹声中演示了玻璃棒点火的实验。

这也是中科院青海盐湖所在“科技扶贫,教育先行”的扶贫模式中,再次走进少数民族地区贫困中学开展的微科研探究活动内容之一。

民和县杏儿藏族乡日扎村是青海盐湖所的定点扶贫村,位于青海省和甘肃省的交界处,山大沟深,干旱少雨,资源匮乏,教育资源尤其匮乏,加上交通不便,信息闭塞,经济发展相对滞后。

为了满足贫困山区的孩子对知识的渴望,结合青海盐湖所申请的中国科学院科普项目,在中国科学院科学传播局的大力支持下,青海盐湖所信息中心和扶贫办组织博士团扶贫小



黄东方演示微科研。

组,打破以往“请进来”的惯例,创新性地“走出去”,以走进学校、走进课堂的方式联合举办了此次系列科学探究活动。

活动当天,青海盐湖所的博士团还为同学们展示了一系列微科研:如何在水下让火光四射,怎样认识酸和碱、碘的萃取分离等实验,同学们在惊叹的同时,也对神奇的化学充满了好奇心,纷纷走上讲台,饶有兴趣地体验了一下微科研的感觉,亲自见证了奇迹的发生。

第二天,博士团带着全所职工和研究生们的关爱和嘱托,将 200 多册捐赠的图书和一些爱心礼物、衣物送到了日扎村 60 多名小学生的手中,为大山深处的孩子们送去了一份爱心和温暖。

2015 年至今,青海盐湖所已经先后为日扎村小学的学生投资约 8000 元购买书包、学习用具等用品;捐助风雪帽、手套 86 套;书包、彩笔、文具盒等学习用具 60 套;冬鞋 70 套;捐赠法制图书 50 套;捐助衣物万余件,给孩子们提供精神上的关爱和物质上的帮助,为他们撑起了一片爱的蓝天。

近年来,青海盐湖所针对 9 个贫困户开展一对一“结对”帮扶活动,2016 年、2017 年共计给贫困户送去慰问金 48300 元,有效解决了贫困户临时性资金短缺等问题;为日扎村修建 110 平方米的镁水泥恒温房,使村民有了自己的活动室;完成了村道硬化工程方案的编制和项目的协调落实,解决群众出行难问题,真正做到了精准扶贫,精准脱贫。(沈春蕾 白花)

研究证实冬虫夏草无抗癌成分

科学家首次发现蛹虫草能够“配套”合成虫草素

■本报记者 黄辛

冬虫夏草的名声现如今如雷贯耳,但虫草并不等于冬虫夏草。虫草种类繁多,到底哪些才是具有抗癌、抗菌等生物活性的“天然宝贝”,大自然又是如何“生产”这些有效成分的?经过多年探索,中科院上海植物生理生态研究所王成树研究组最新发现,一直被认为是虫草中有效抗癌成分的虫草素在冬虫夏草中并不存在,而存在于蛹虫草等“近亲”中。

研究人员不仅完整解析了虫草素在蛹虫草中的生物合成机理,而且首次发现蛹虫草能够“配套”合成虫草素分子的其他类虫草菌其实并不能合成虫草素和喷司他丁。10月19日晚,国际著名学术杂志《细胞化学与生物》在线发表了这一最新研究成果。据悉,王成树研究员本月还刚刚获得“亚洲杰出真菌学家奖”。

据专家介绍,自然界中能够感染杀虫的广义虫草菌达 1000 多种,这些真菌在昆虫种群的自然调控中发挥着重要的作用。其中以冬虫夏草、蛹虫草和蝉花等不同虫草菌感染昆虫后形成的菌虫复合体——虫草具有悠久的食药用历史,具有抗癌、提高免疫、抗菌及抗疲劳等多种生物活性,但相关的活性成分多不清楚。腺苷类物质虫草素最早于 1950 年在蛹虫草中被发现鉴定,具有抗菌、抗虫及抗增殖生物活性,但合成机理未知,导致学界及企业界争论不休,认为冬虫夏草等不同虫草菌具有合成虫草素的能力。事实真的如此吗?

蛹虫草又名“北虫草”等,也是公众较熟悉的一类虫草菌。王成树研究组几年前已完成了包括蛹虫草在内的 18 种广义虫草菌的基因组研究,在此基础上,通过生物信息分析及基因功能研究,这次完整地解析了虫草素在蛹虫草中生物合成的分子机理,并且收获了“意外的惊喜”。

研究人员发现,蛹虫草在合成虫草素的过程中,还会“配套”合成另一个“宝贝”——喷司他丁。喷司他丁最早是于 1974 年在细菌中被鉴定发现的,后证明为腺苷脱氢酶的强抑制剂,1991 年获美国食品药品监督管理局(FDA)批准,成为抗淋巴瘤白血病的商业药物。直到此次,科学家们才发现了喷司他丁的另一个身份——虫草素的“天然保护者”,其先天使命便是保护所合成虫草素的结构稳定性。这两种腺苷类分子由同一基因簇共同合成,在功能上扮演着“保护者”与“被保护者”的角色关系。如此,蛹虫草的抗癌活性也有了第一个分子依据。

结合色谱质谱分析,该研究组从基因和化合物水平证明:冬虫夏草和蝉花等其他种类的虫草菌不能合成虫草素,也不能合成喷司他丁。除蛹虫草外,实验还发现九洲虫草和构巢菌属能合成虫草素和喷司他丁。

人们推崇了这么多年的冬虫夏草,到底含有多健康有效成分?“我们不能据此得出冬虫夏草完全没用的结论。虽然可以确定的是,冬虫夏草不能合成虫草素和喷司他丁,但不同虫草具有合成多种活性成分的能力,只是具体产物现在仍不清楚。”王成树研究员坦言。

实验证明,不同培养条件下的产量明显不同:蛹虫草只有在蚕蛹上生长而非液体发酵培养时,才会合成高水平的虫草素和喷司他丁。王成树表示,可以将相关基因转入大肠杆菌或酵母菌,获取虫草素的速度会快很多。因为目前培养蛹虫草的周期需要五六十天,而基因工程菌的培养很快就能够收获。

值得重视的是,虫草素含量过高,会引起细胞毒性,此时真菌会启动解毒机制,将虫草素脱氨,降解成不具活性的 3'-脱氧肌苷。这一发现提示人们,也不宜摄入过量虫草素,虫草素不是多多益善。