



中国科学院强磁场科学中心

High Magnetic Field Laboratory of the Chinese Academy of Sciences

# 强磁场实验装置 2018 年度报告

## （稳态，合肥）

中国科学院强磁场科学中心

2019 年 2 月

## 目 录

综述及基本情况 .....	3
装置概况 .....	3
SHMFF 总体目标与研究方向 .....	4
组织框架 .....	5
研究进展与成果 .....	5
SHMFF 用户成果丰硕 .....	5
部分代表性成果 .....	5
设施建设、运行与改造 .....	13
SHMFF 运行与开放 .....	13
实验技术发展 .....	14
SHMFF 国际用户开放 .....	14
维修改造项目进展 .....	14
科技队伍与人才培养 .....	15
合作与交流 .....	15
科技合作交流 .....	15
科普 .....	16
大事记 .....	18

## 综述及基本情况

### 装置概况

强磁场实验装置(HMFF)项目是由中国科学院和教育部联合申报并获批准的“十一五”国家重大科技基础设施建设项目。根据《国家发展改革委关于强磁场实验装置国家重大科技基础设施项目建议书的批复意见》(发改高技[2007]188号文件),强磁场实验装置采取“一个项目,两个法人,两地建设,共同管理”的建设模式。

稳态强磁场实验装置(Steady High Magnetic Field Facility, 简称 SHMFF)的法人单位是中国科学院合肥物质科学研究院,共建单位是中国科学技术大学。工程经理部负责 SHMFF 建设的组织实施,各项任务以中国科学院强磁场科学中心为依托完成。

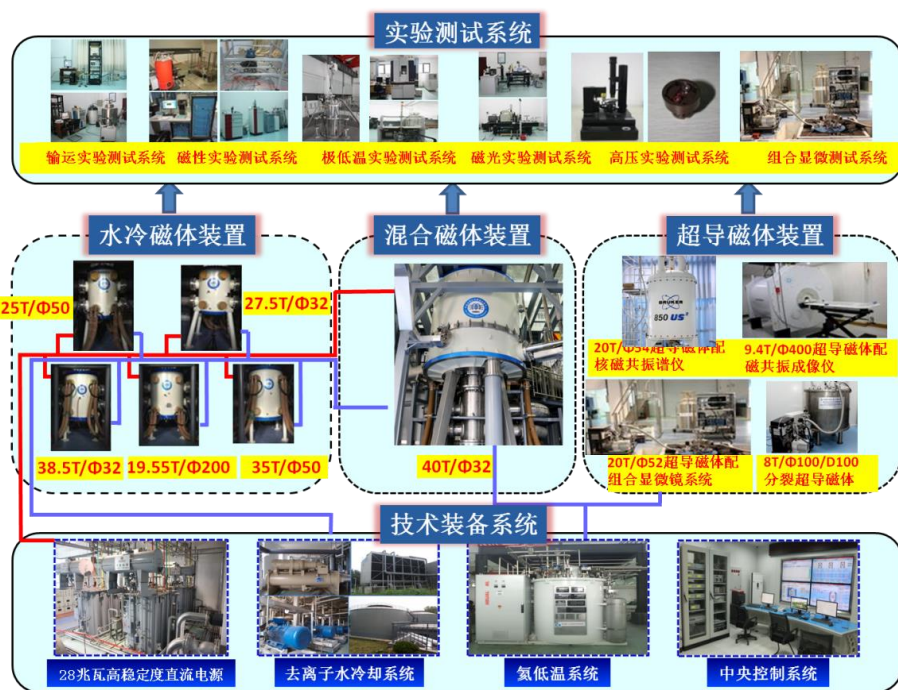
SHMFF 于 2008 年 5 月 19 日获批开工,2010 年 10 月 28 日转入“边建设,边运行”模式,2017 年 9 月 27 日通过国家验收。

SHMFF 建设过程取得了一系列成就,磁体技术和综合性能处于国际领先地位。成功研制了创世界纪录的系列水冷磁体、国际一流水平的混合磁体及其磁体支撑装备系统;成功研制了国际唯一的高场扫描隧道显微系统,国际独创的组合成像显微系统;国际领先的强磁场、超高压、低温综合极端实验条件。在国际上实现了强磁场实验条件从跟跑到领跑的跨越,使我国稳态强磁场科学研究条件跃升至世界一流水平,已成为国际五大稳态强磁场实验装置之一。

SHMFF 还创新了大科学装置建设运行新模式,“边建设,边运行”期间对用户开放并取得一系列重要成果,使国家投资得以及早发挥效益。

截至 2018 年底 SHMFF 已累计运行 360475 小时、开展实验课题数 2094 个,用户论文总数 1261 篇(其中 SCI 1134 篇)。装置运行状态良好,为国内外用户开展强磁场下研究提供了支持,有效推动了我国稳态强磁场下前沿科学研究。

目前 SHMFF 不仅成为中科院合肥大科学中心核心基础,更是合肥综合性国家科学中心建设的关键基石,已成为国家科技创新体系的重要组成部分。



SHMFF 磁体、系统总图

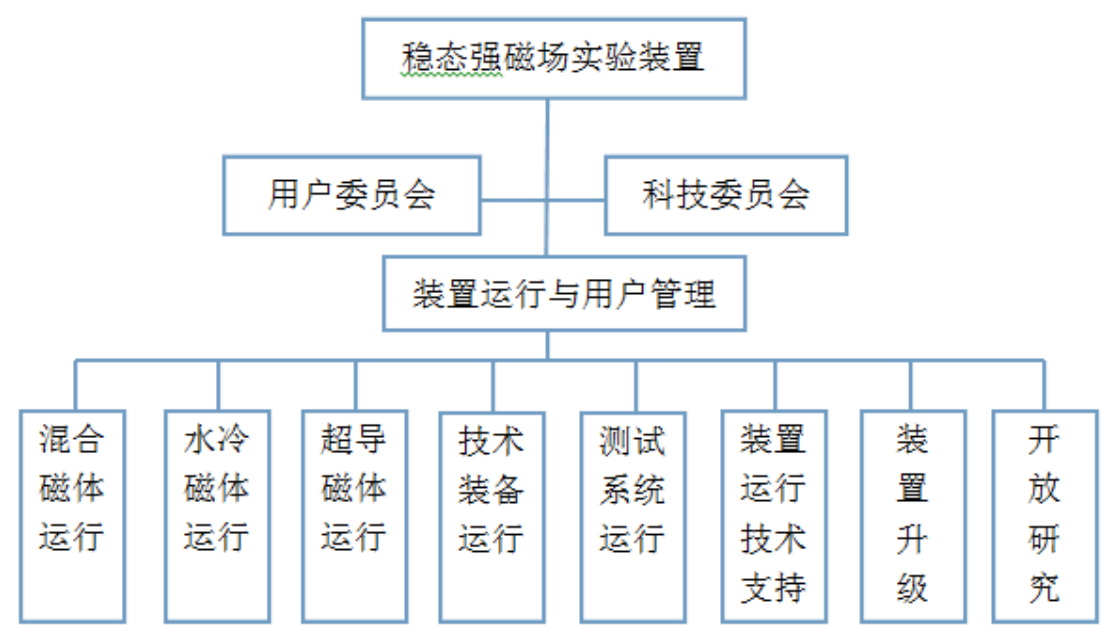
## SHMFF 总体目标与研究方向

致力于提升装置性能，发展新的强磁场下的实验测试系统，积极培育国内外高水平用户。

围绕强磁场下新型量子功能材料的合成与调控生长、高温超导磁体及实用化超导材料的高场性能研究、高温超导机理、关联电子材料/拓扑超导体/低维体系的量子效应及输运研究、生物大分子在疾病中的分子机制研究、稳态磁场的生物学效应研究、肿瘤发病机理和小分子药物作用机制研究等方面开展前沿基础性研究。

作为合肥综合性国家科学中心和合肥大科学中心的重要组成部分，在保证 SHMFF 装置稳定运行、优质开放的基础上，力争不断产出原创性科技成果，在辐射带动发展、集聚高水平人才等方面取得成绩。

组织框架



研究进展与成果

SCI 收录论文数	论文引用数	国外发表论文数	用户相关论文数	获省部级以上奖数	发明专利授权	实用新型专利授权	软件著作权
190		193	204		8	4	4

SHMFF 用户成果丰硕

2018 年装置运行成效显著，支持用户产出了一批高质量成果。特别是自主研发的高场条件（ $B>20T$ ）成果的国际影响日益突显，支持新材料、医药生命等领域得以迅速发展。

本年度依托 SHMFF 共发表期刊论文 204 篇，其中 SCI 期刊论文 190 篇，一区期刊共 80 篇，二区期刊 62 篇，Nature Index 评价依托期刊论文 61 篇。其中在 Nature, Science, Cell 各发表成果 1 篇，另在 JACS, Nature Communications, Nature Nanotechnology, Nature Mature Materials, Nature Physics, PRL, PRX, PNAS 等国际期刊共发表文章 16 篇。优质成果比例较往年显著提高。

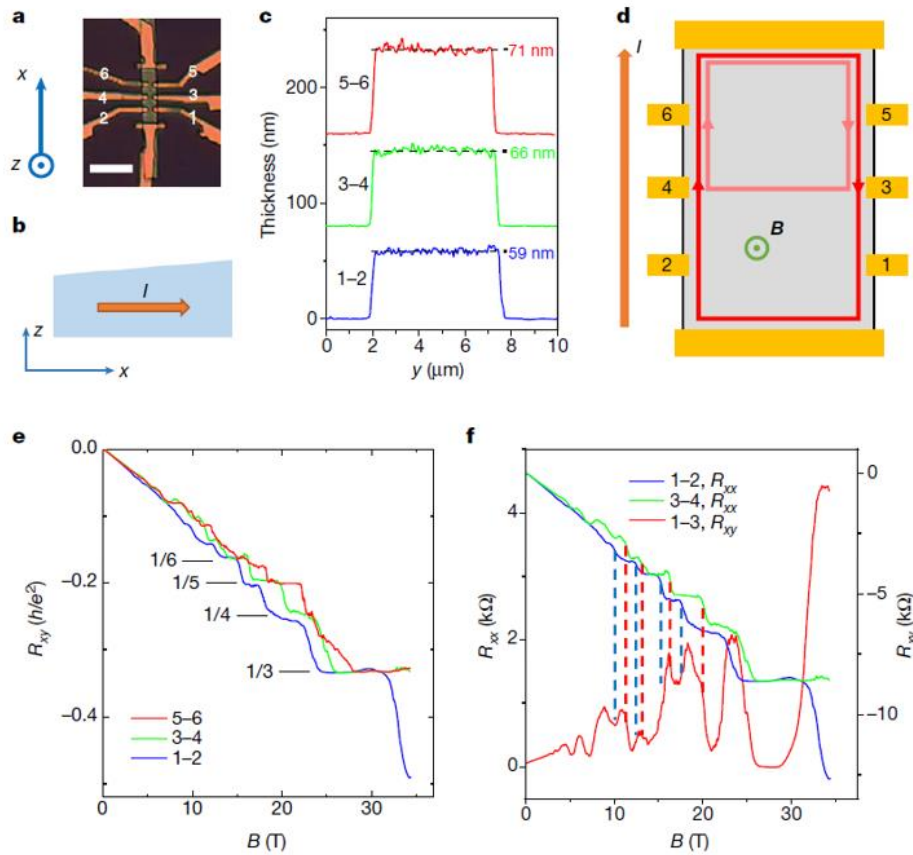
优质的用户成果进一步扩大了中国稳态强磁场实验室的国际影响。

部分代表性成果

揭示基于外尔轨道的三维量子霍尔效应

科学家们对量子霍尔效应的研究一直停留于二维体系，从未涉足三维领域。复旦大学修发贤课题组等首先在该领域实现重大突破，在拓扑半金属砷化镓纳米片中观测到由外尔轨道形成的新型三维量子霍尔效应的直接证据，迈出了从二维到三维的关键一步。相关研究成果在线发表于期刊 Nature（DOI:

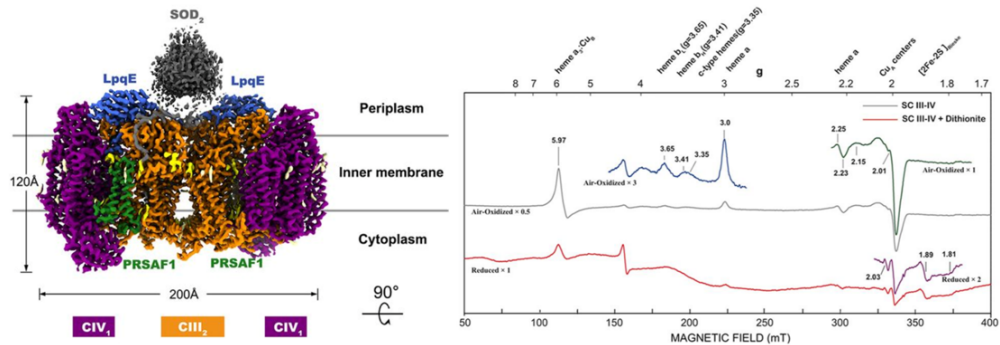
10.1038/s41586-018-0798-3)。该工作高磁场实验部分是在 SHMFF 水冷磁体上完成。



$\text{Cd}_3\text{As}_2$  强磁场下的量子霍尔效应

破解分枝杆菌能量代谢奥秘,助力抗结核新药研发

南开大学饶子和院士研究组领衔的联合研究团队首次报道了耻垢分枝杆菌呼吸链超级复合物  $\text{III}_2\text{IV}_2\text{SOD}_2$  原子分辨率结构，并联合 SHMFF 低温电子自旋共振设备揭示了生命体内一种新的醌氧化与氧还原相偶联的电子传递机制，为抗击耐药结核的新药研发奠定了重要基础。相关研究成果以研究长文的形式发表于期刊 Science 上（aat8923 (2018)）上。

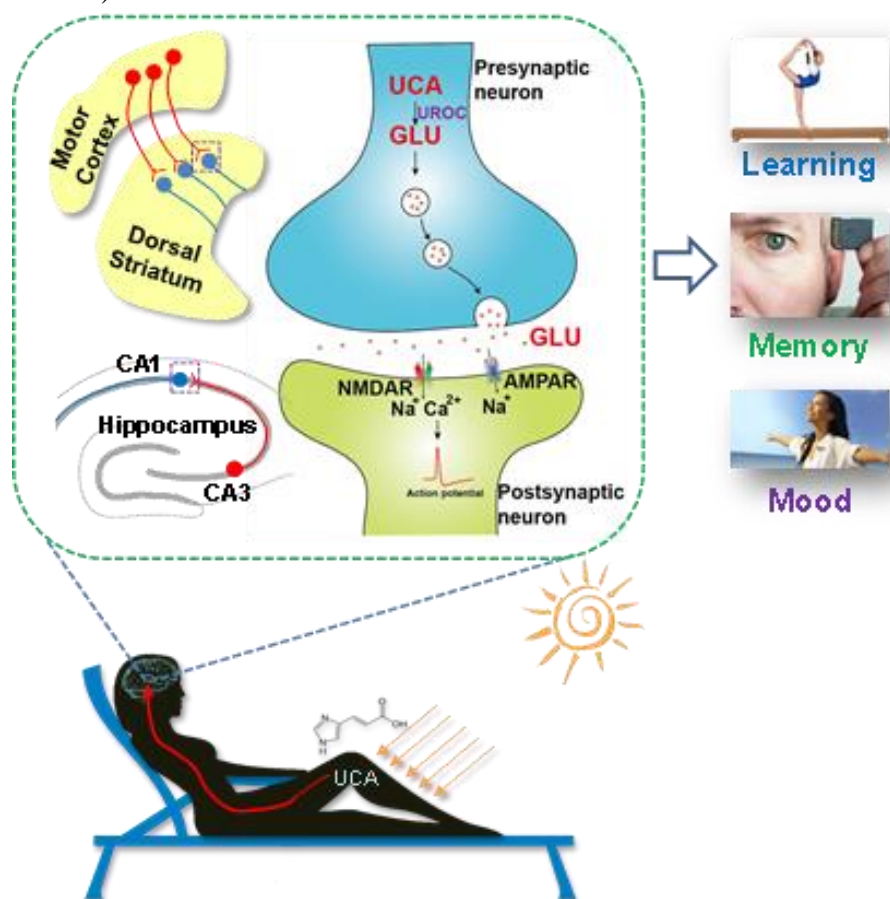


$\text{III}_2\text{IV}_2\text{SOD}_2$  的冷冻电镜结构以及应用低温电子自旋共振方法检测复合物中的各个金属中心的氧化还原状态



## 揭示参与日光照射改善学习记忆的脑内谷氨酸合成新通路及相关神经环路机制

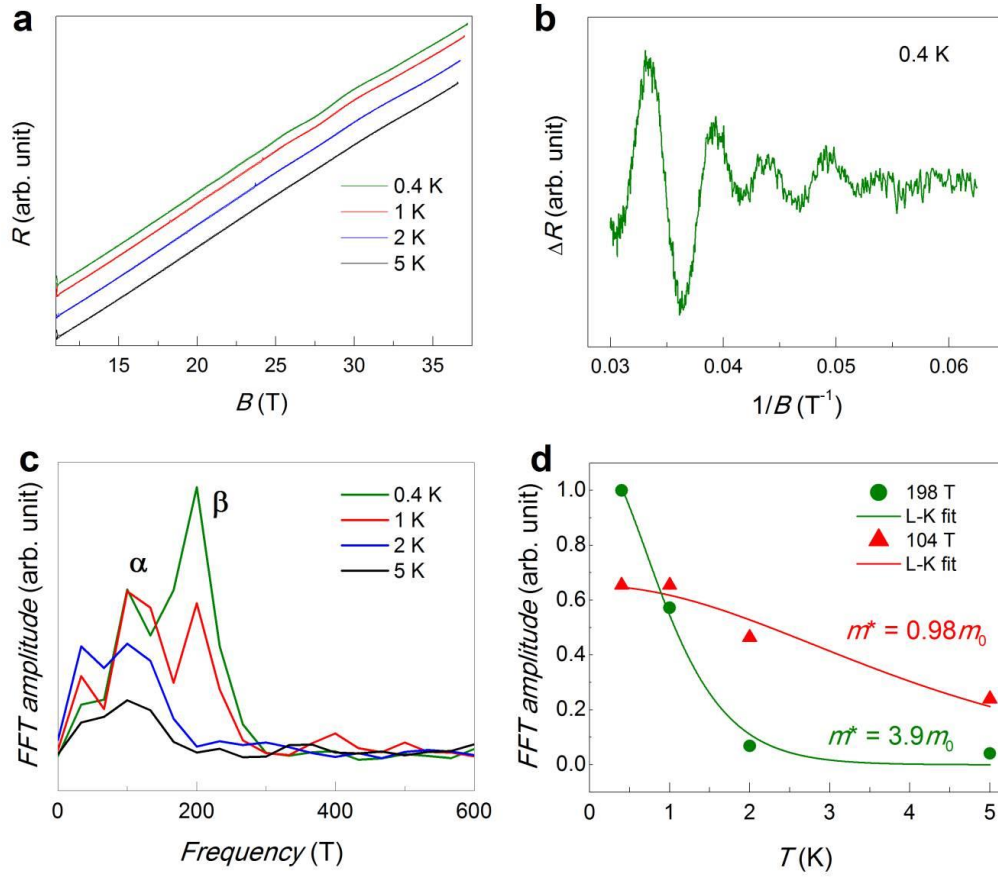
中科大的熊伟等通过单细胞质谱、光遗传、分子生物学、电生理及动物行为学等技术方法，揭示了一条脑内谷氨酸合成新通路及其参与日光照射改善学习记忆的分子及神经环路机制。因此该通路的发现对于了解大脑工作机理以及探索相关疾病发生机制都将起到非常重要的作用。该研究成果发表在期刊 *Cell* ( 173, 1716 (2018) )上。



日光照射改善人类情绪、学习和记忆的分子及神经环路机制

## 在磁性 Weyl 半金属中发现巨大的反常霍尔效应

德国德累斯顿马克斯普朗克固体化学物理研究所洪堡学者刘恩克博士与所长 Claudia Felser 教授等在具有 kagome 结构的磁性 Weyl 半金属  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  中发现巨大的反常霍尔效应。该工作发现了一类新的磁性 Weyl 半金属，并首次在磁性 Weyl 半金属实现了巨大的内禀反常霍尔效应，为实现室温下的量子反常霍尔效应提供了一种途径。研究成果发表在 *Nature Physics* (14, 1125–1131 (2018)) 上。此工作部分的数据采集在 SHMFF 的 40T 混合磁体上完成。

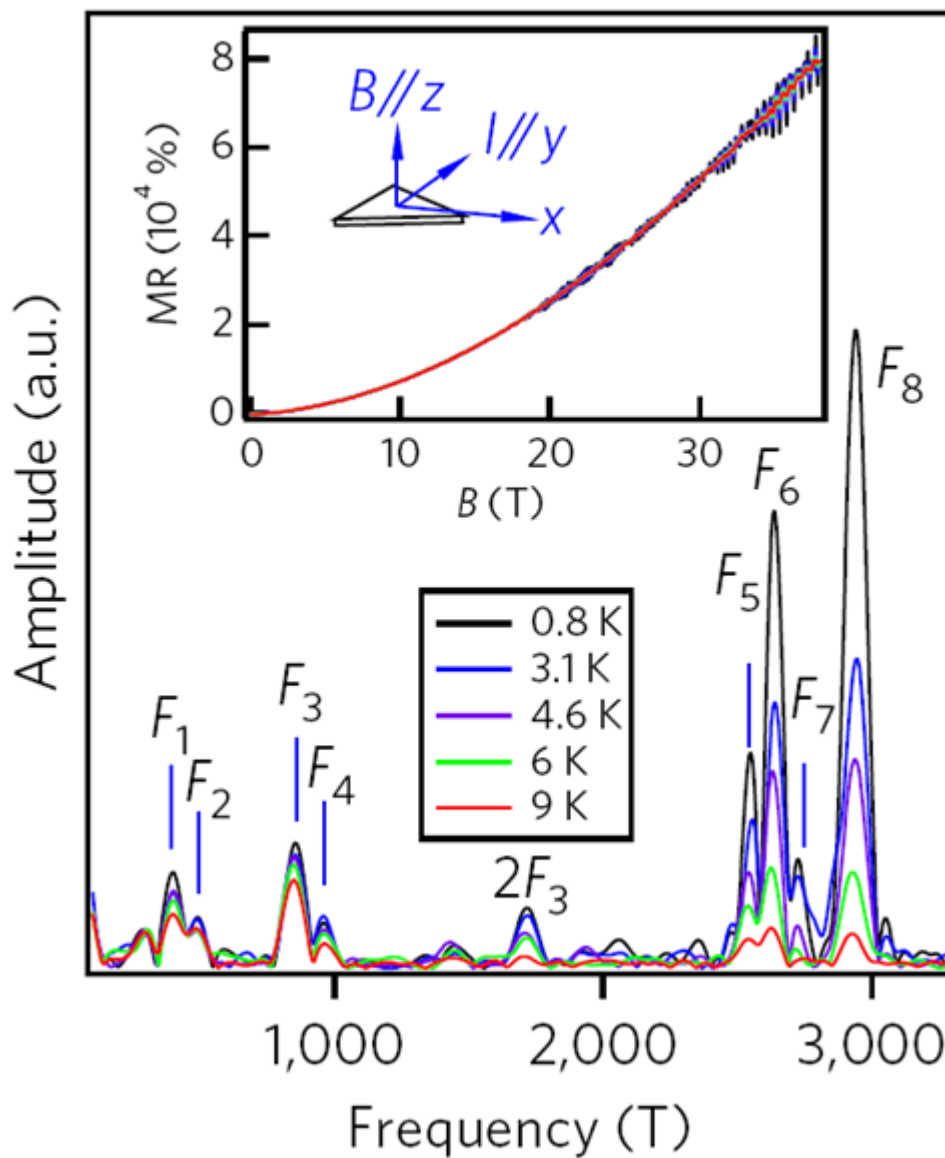


Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>2</sub> 在稳态强磁场中观察到的 SdH 量子振荡及由此得到的有效质量随温度的变化

### 实验观测到碳化钨（WC）中的三重简并点和费米弧表面态

中科院物理研究所丁洪等在 SHMFF 最高 38T 强磁场下开展了 WC 量子震荡测量，研究其费米面结构，确定了 WC 中三重简并半金属态的拓扑性质，合理解释了表面态观测结果。这是继狄拉克半金属和外尔半金属之后确定的又一类具有拓扑非平庸性质的半金属态。相关工作发表在 Nature Physics (14, 349–354 (2018)) 期刊上。

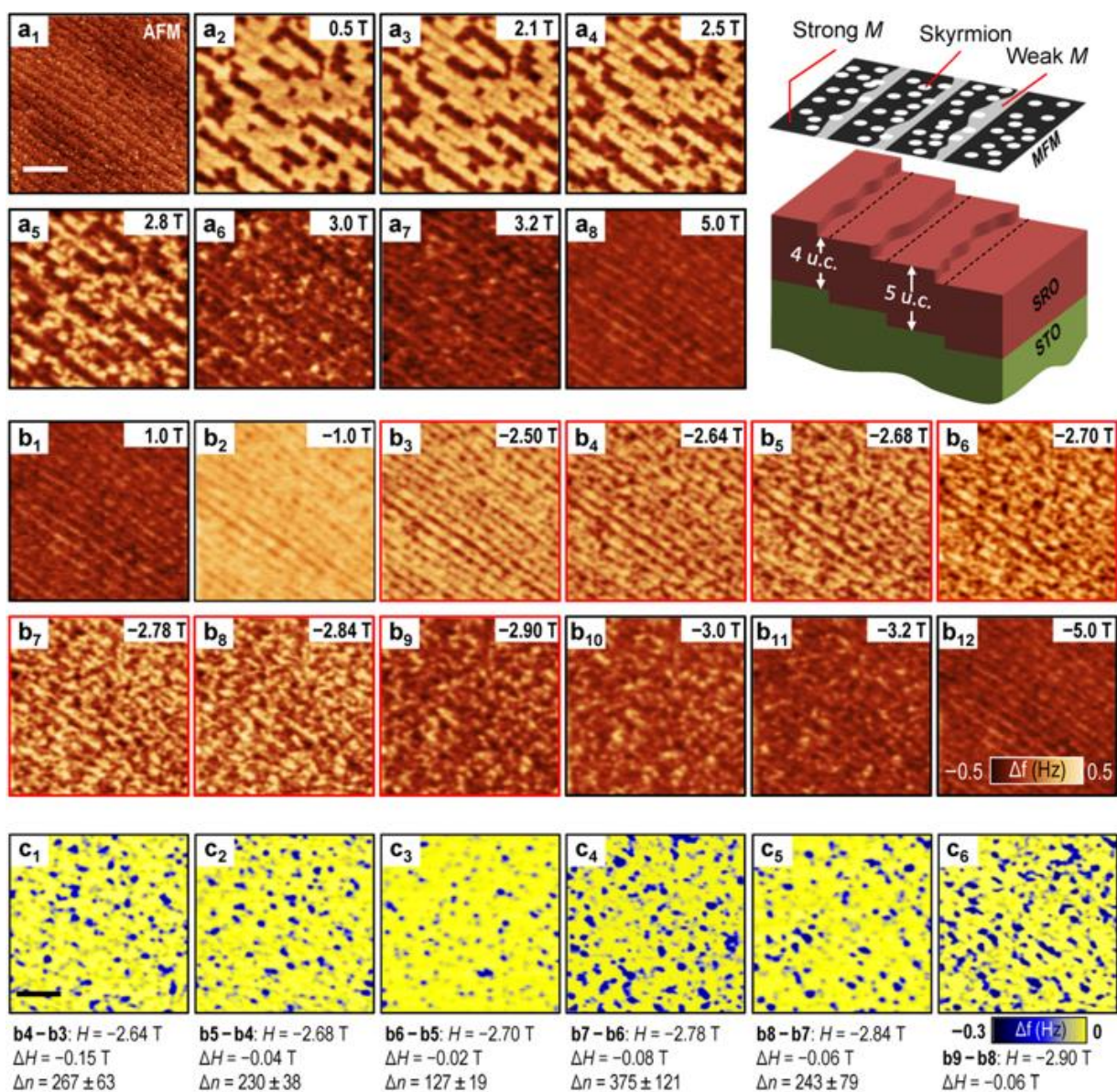




强磁场下量子输运测量

### 首次在氧化物薄膜中直接观测到斯格明子

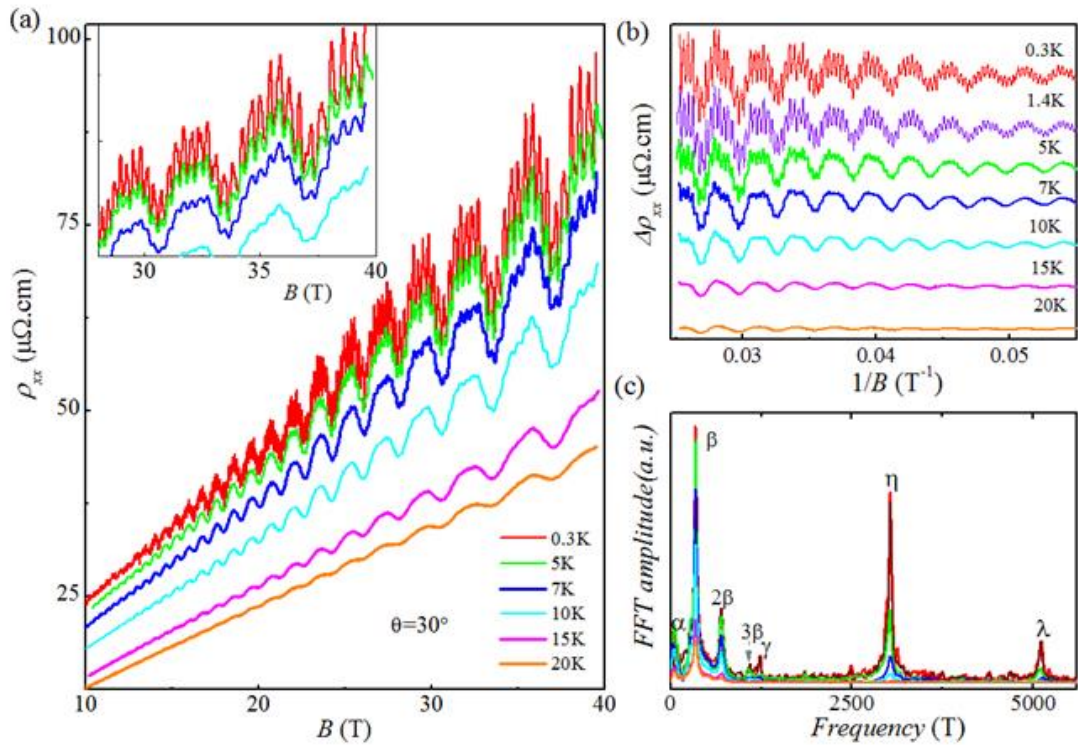
韩国首尔大学 Noh 等在斯格明子的研究中取得了突破性进展。研究团队利用 SHMFF 磁力显微镜，首次实现了氧化物薄膜中 skyrmions 的直接观测。这一结果不仅为深入理解氧化物薄膜中 skyrmions 提供了实验基础，而且为人们从微观角度认识和操控它提供了参考。相关研究发表在 Nature Materials (17, 1087-1094(2018))上。



MFM 成像结果

## 发现新的三重简并拓扑半金属

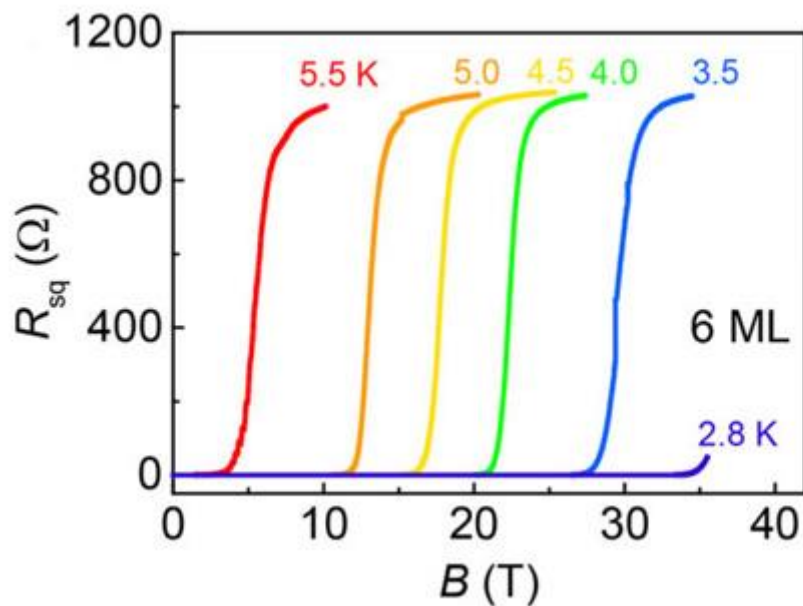
强磁场中心田明亮研究员课题组在拓扑半金属材料研究中取得重要进展。研究人员通过对层状结构的  $\text{PtBi}_2$  在 40T 下的量子输运特性测量及第一性原理能带计算研究，发现层状结构的  $\text{PtBi}_2$  是新一类三重简并拓扑半金属。本工作对促进人们认识电子拓扑物态，发现新奇物理现象，开发新型电子器件以及深入理解基本粒子性质具有重要的意义。该研究成果发表在 *Nature Communications*(9, 3249 (2018))上。



不同温度下的磁电阻和量子振荡行为

### 关于超薄单晶铅膜界面超导研究取得新进展

北京大学王健教授等在一种新型二维超导体的低温强磁场实验中找到了塞曼保护超导电性的直接证据。这预示有望在二维超导体中，通过界面调制发现新的非常规超导特性。这种宏观尺度强自旋轨道耦合下的二维超导也为拓扑超导的探索提供了新的平台，并为未来无耗散或低耗散量子器件的设计与集成奠定了基础。该工作发表于期刊 PRX(8, 021002 (2018))。

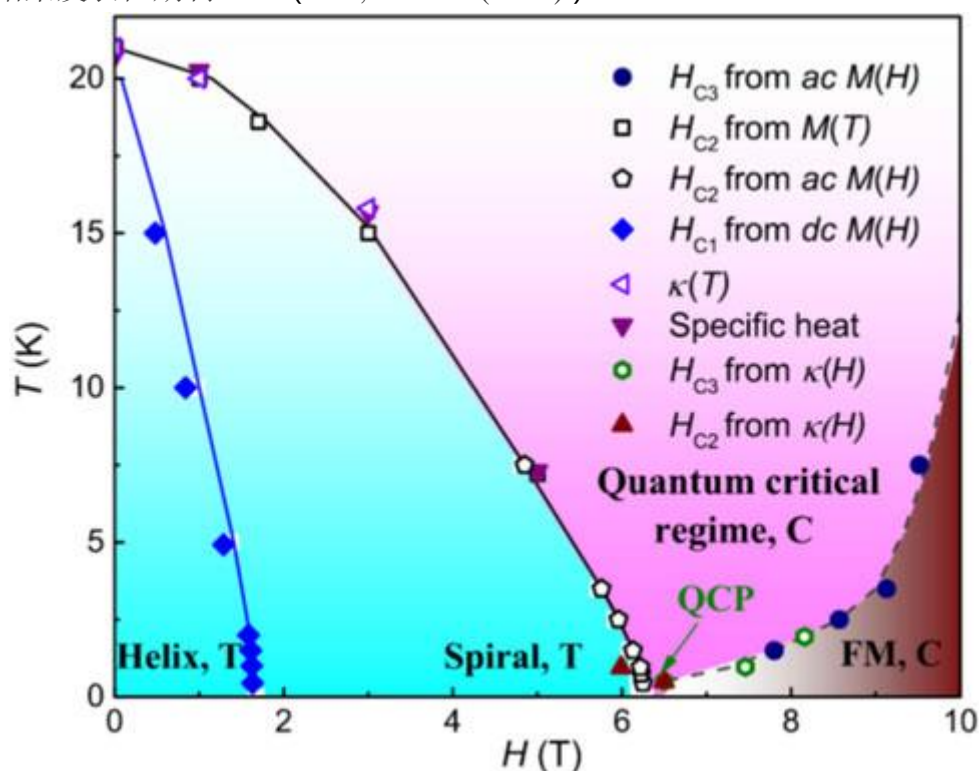


最高为 35.5T 稳态强磁场下的低温输运图



## 揭示磁场驱动三维阻挫磁性材料的量子临界现象

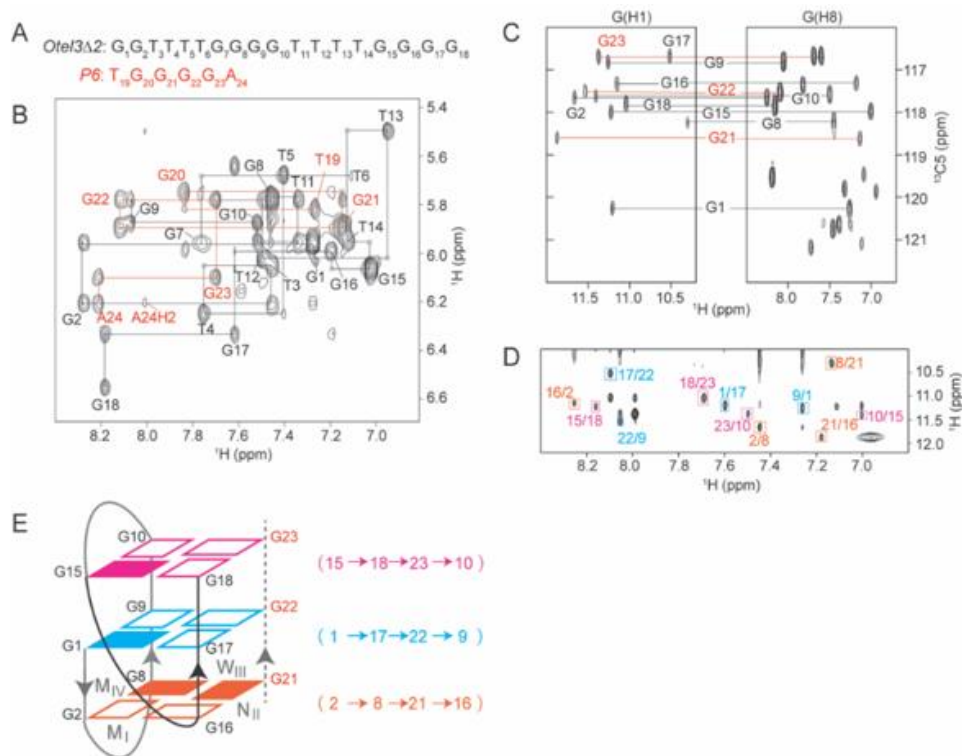
强磁场中心杨昭荣研究员等利用强磁场、极低温极端条件在三维阻挫磁性材料  $\text{ZnCr}_2\text{Se}_4$  的物性研究中取得重要进展。该团队通过强磁场、极低温下的直流/交流磁化率、热导和比热等测量手段，完善了  $\text{ZnCr}_2\text{Se}_4$  的磁场-温度相图，并发现了一个磁场诱导的量子相变。该工作为阻挫量子临界行为研究提供了新的思路。相关结果发表在期刊 PRL ( 120, 147204 (2018) ) 上。



$\text{ZnCr}_2\text{Se}_4$  温度-磁相图

## 解析出 DNA 分子间 V-形 G-四链体复合物结构

强磁场中心张钠研究员课题组首次运用核磁共振技术解析由端粒 DNA 序列 d(G2T4G4T4G4)与短链 d(TG4A)探针形成的分子间 V-形 G-四链体复合物结构，发现新型短链 DNA 探针能够特异性识别包含 V-shape 关键碱基序列的端粒 DNA，具有潜在抗癌前景。该研究成果在线发表于期刊 Nucleic Acids Research (doi:10.1093/nar/gky1167)。



## 设施建设、运行与改造

设施	用户 总数	院内	院外		其中				
			国内	国外	大学	研究 所	政府 机构	企业	其他
稳态强 磁场实 验装置	61	20	34	7	37	20	0	0	4

## SHMFF 运行与开放

提供了实验条件。2018 年度计划运行总机时 45254 小时，实际运行总机时 46947 小时，完成了运行计划、实现了年度科学实验目标。

	HW/WM	SM3 及 NMR	SM4 及 MRI
计划运行机时	1000	8280	2650
实际运行研究	1068	8302	2784
完成率	107%	100%	105%

	SM1 及超快	SM2	PPMS	制冷机	MPMS	ESR	拉曼	红外	XRD	极低温	超高压	SMA
计划运行机时	2192	4896	6768	1440	7440	1200	1100	770	1150	2000	720	3648
实际运行研究	2338	5300	6960	1320	7549	1497	1318	780	1158	2120	820	3633
完成率	107%	108%	103%	92%	101%	125%	120%	101%	101%	106%	100%	100%

## 实验技术发展

- 超导磁体 SM3 及 NMR：设计编写一种脉冲序列获得不均匀磁场下高分辨谱图；发展了一种高灵敏度的 J-selective  $^{13}\text{C}$  定量方法。在 850M 谱仪上编写分子间双量子相干序列获得了活体蚯蚓高分辨 1D 投影谱。
- 超导磁体 SM4 及 MRI：发展了 9.4T 磁场下高分辨扩散张量成像 DTI，猴脑神经纤维束图像分辨率达到 250 $\mu\text{m}$ ，获得了 9.4T 活体猴脑海马亚区等的精细结构像。
- 超导磁体 SM2 及 SMA：实现 0-90 度下的扫描探针显微镜可旋转测量。

## SHMFF 国际用户开放

2018 年度共为国外 7 家用户单位的 8 个课题提供了 2052 小时的机时服务。

2018 年国外用户成果包括一篇 Nature Materials（韩国首尔大学：在氧化物薄膜中直接观测到 Skyrmions）和一篇 Nature Physics（德国德累斯顿马克斯普朗克固体化学物理研究所：在磁性 Weyl 半金属中发现巨大的反常霍尔效应）。

按照中科院条件保障与财务局要求初步配合完成了中科院重大科技基础设施共享服务平台-SHMFF 的英文系统搭建。

## 维修改造项目进展

“SHMFF 去离子水冷却系统维修改造”项目进展顺利，完成了 2018 年度计



划，提纯量约 70m<sup>3</sup>/h，供冷流量超过 1300m<sup>3</sup>/h。

## 科技队伍与人才培养

强磁场中心注重人才队伍建设，持续加强人才队伍建设。充分利用相关人才政策引进人才、培养人才，推动中心的科学发展。

截止2018年底人员情况，中心人员总数187人。其中：中国科学院院士1人，研究员40人，副研究员43人，中级60人，初级及以下21人，博士后在站15人，研究院特聘研究员3人，外聘专家1人，中心特聘研究员3人。2018年新引进海外留学回国人员4人。

2018年中国科学院强磁场科学中心新增的人才项目13项，获奖5项；总经费约600万元。

2018年在读研究生共计189人，其中硕士研究生97人，博士研究生92人；2018年共招收64人，其中硕士研究生38人，博士研究生26人；2018年共毕业33人，其中硕士研究生10人，博士研究生23人。

设施 人员 总数	按岗位分			按职称分			学生			在 站 博 士 后	引 进 人 才 *
	运行 维护 人员	实验研 究人员	其他	高级 职称 人数	中级职 称人数	其他	毕 业 博 士	毕 业 硕 士	在 读 研 究 生		
187	97	69	21	91	75	21	23	10	189	15	3

\*指通过“百人计划”、“千人计划”等引进的人才。

## 合作与交流

### 科技合作交流

2018 年强磁场中心积极开展对外合作和交流活动，召开了系列学术会议，加强与国内外专家的学术交流与合作，为进一步扩大强磁场中心的影响起到了积极作用。

2018 年度共接待海外专家 28 人，总计来访 111 人天；中心科研人员出国境合计 21 人次，其中参加学术会议 12 人次，开展合作研究 9 人次。

本年度共邀请 22 位专家学者作前沿性学术报告以及交流访问；举办了国家稳态强磁场装置现状与发展战略研讨会、“强光磁集成实验装置”建设方案咨询会、2018 氢低温工程青年论坛、2018 基因分子诊断与精准用药在肿瘤诊治中的应用研讨会；参与组织了“强磁场与生命健康”香山科学会议、首届生物磁学和磁性纳米材料会议、首届国际磁外科大会、“磁生物学与磁医学前沿讨论会”第 314 期东方科技论坛、首届粤港澳大湾区磁与生命健康前沿与转化高峰论坛等。

## 科普

积极参与中科院 14<sup>th</sup> 科技周暨公众科学日活动，为观众准备了丰富有趣的科普活动。SHMFF 入选安徽省“纪念改革开放 40 周年，安徽省科技创新成果展”活动，作为高端科普资源的国家重大科技基础设施，期间展出大型 SHMFF 电子科普沙盘、Florida-Bitter Plate、若干创新成果展板，激发了公众热爱科学、了解科学的热情，为中科院强磁场科学中心营造了良好的社会氛围。

2018 年度 SHMFF 共接待来自不同国家、不同知识层次和年龄层次参观者共 161 余批次，超过四千人近距离感受了国家大科学装置。



中科院副院长侯建国视察



中科院副院长张涛视察



国家科技特等奖获得者赵忠贤院士来访



中国科学技术大学党委书记舒歌群来访



举办“国家稳态强磁场装置现状与发展战略研讨会”



参与组织“强磁场与生命健康”香山科学会议





举办“氦低温工程青年论坛”



多国驻华使馆高级官员参观



全国大学生夏令营活动

## 大事记

2月23日，强磁场安徽省实验室成立。

5月18日，“国家稳态强磁场装置现状与发展战略研讨会”在合肥召开，SHMFF

运行科技委、用户委成立。

5月23日，中国侨联党组书记、主席万立骏院士调研 SHMFF。

6月6日，全国政协委员、教科卫体委员会副主任曹健林调研 SHMFF。

9月14日，中科院党组副书记、副院长侯建国调研 SHMFF。

9月20日，赵忠贤院士调研 SHMFF。

10月27日，原中央政治局委员郭金龙调研 SHMFF

12月12日，中科院副院长、党组成员张涛调研 SHMFF。

12月24日，原中央政治局常委、全国政协主席贾庆林视察 SHMFF。