

# 国内外强磁场实验室 科研动态

2018 年第二季度



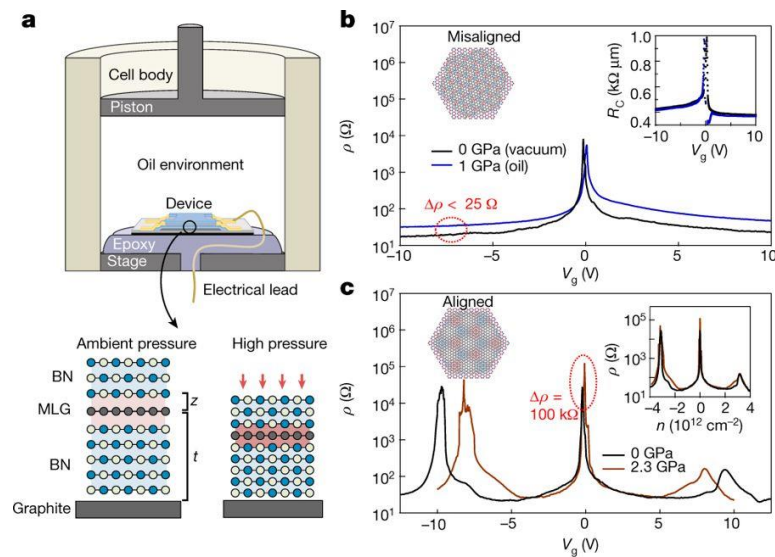
中国科学院强磁场科学中心·科研办

2018/8/22

# 1. 美国国家强磁场实验室

## ● 压力调控石墨烯晶体管的性质

MagLab 用户开发了一种技术，通过压力操纵石墨烯/氮化硼三明治结构的导电性，使材料更接近当今电子设备中使用的半导体。这项研究是将石墨烯做成晶体管的非常重要的第一步，有望得到广泛应用。该工作中的高压和强磁场实验是在 MagLab 完成。



Cite: [M. Yankowitz, et al. Nature 557, 404 \(2018\)](#)

装置：DC 磁体、高压实验系统

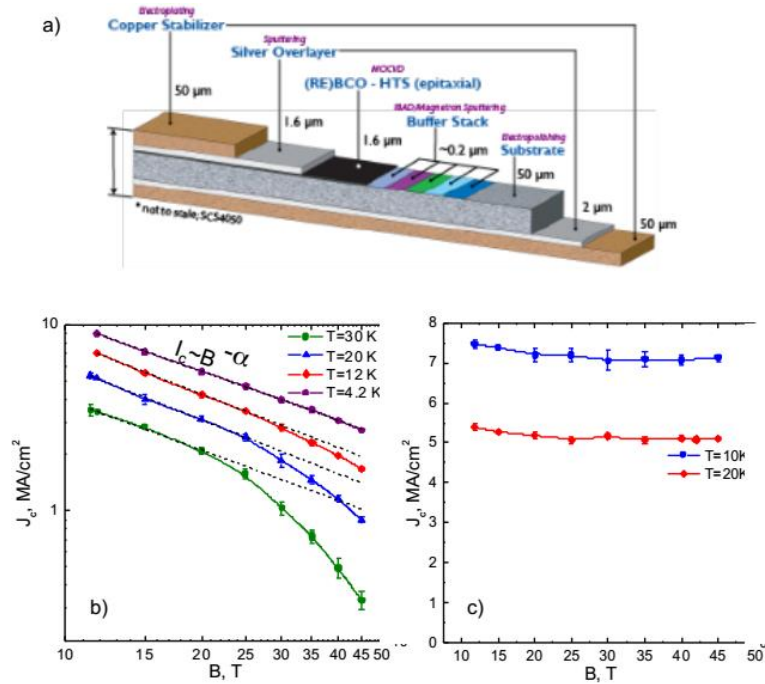
## ● 适用于 50T 以上磁体的高温超导带材

美国国家科学院的两份报告已经确定，60T 直流磁体是国家的重中之重。60T 磁体必将在很大程度上依赖于可以绕制成磁体的高温超导 (HTS) 材料的改进，目前排位靠前的候选材料是稀土钡铜氧化物 (REBCO) 带材。

最近在 MagLab 的 45T 混合磁体上进行的测量结果使得 MagLab 和 SuperPower 公司的研究人员能够确定临界电流密度 ( $J_c$ ) 对磁场的指数关系。

$J_c$  在磁场垂直于导体平面时超过  $1\text{MA}/\text{cm}^2$ ，平行于导体平面时超过  $7\text{MA}/\text{cm}^2$ ，而且即使在高温下也几乎没有磁场依赖性。

这些数据显示，使用最新的高临界电流密度 REBCO 带材，可以设计出 50T 或更高的超高场磁体。

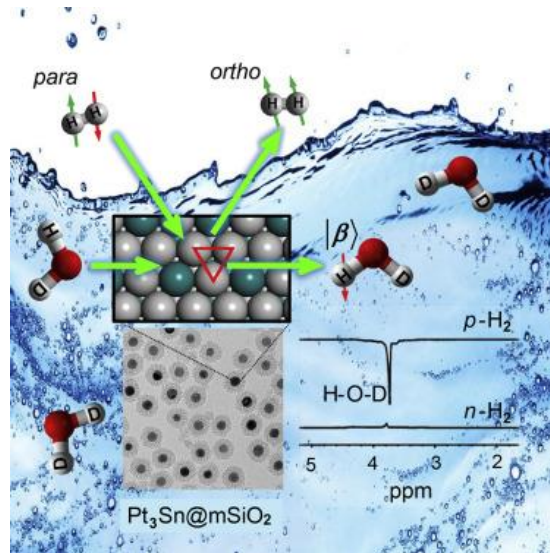


装置：45T 混合磁体

### ● 廉价超极化水或将引发 MRI 变革

MRI 实际上给出的是水在生物体内的分布图，采用的方法是测量水中氢质子的核自旋。其信号非常微弱，因此要使用尽可能强的磁场，并配合使用造影剂。这使得 MRI 仪器造价昂贵，使用起来也不方便。

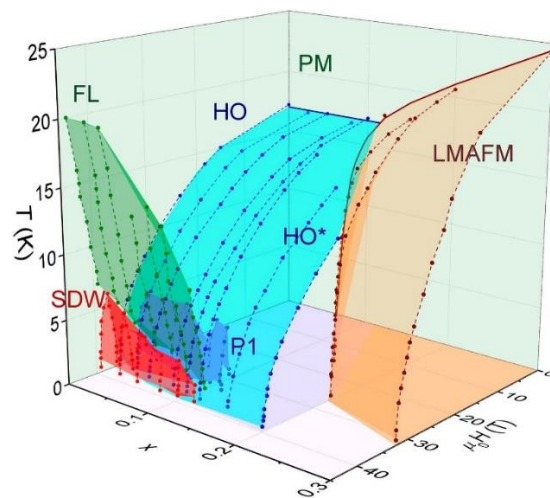
MagLab 的研究团队使用一种非常简单廉价的方法，将水中的氢质子极化，有效地提高了它的磁性。由此产生的“超极化水”对 MRI 检测比常规水更敏感，这使得较低磁场就能获得相同的分辨率，可以显著降低 MRI 的价格。或许有一天，电影“星际迷航”中那种手持式 MRI 将成为现实。



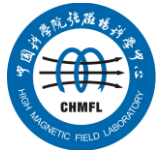
Cite: [E. W. Zhao, et al. Chem 4, 1387 \(2018\)](#)

装置: MRI

● URu<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>Si<sub>2</sub> 在强磁场下的相图



在哲学、系统理论、科学和艺术中都有“呈展” (emergence) 的概念，即当整体大于各部分的总和时，会出现整体具有其各部分所不具备的属性，这些属性是由于各部分之间的相互作用而产生的。呈展在复杂材料理论中起着越来越重要的作用。URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 的神秘隐藏序相是呈展的一个主要例子，在强磁场下进行的这个实验使我们能够在这个化合物中首次绘制出磁场-温度-成分三维



相图。这项工作隐藏序的相变温度和临界磁场之间建立了单一关系，这对隐藏序相及其呈展行为的任何理论施加了约束。

*Cite: S. Ran, et al. PNAS 114, 9826 (2017)*

装置：65T 脉冲磁体、45T 混合磁体

- **美国强磁场实验室获 1.84 亿美元经费支持**

近日，美国强磁场实验室 MagLab 获得 NSF 新一期为期五年的经费支持，比上一期增加近 10% 达 1.84 亿美元，使得 MagLab 获得的总投资超过 8.67 亿美元。

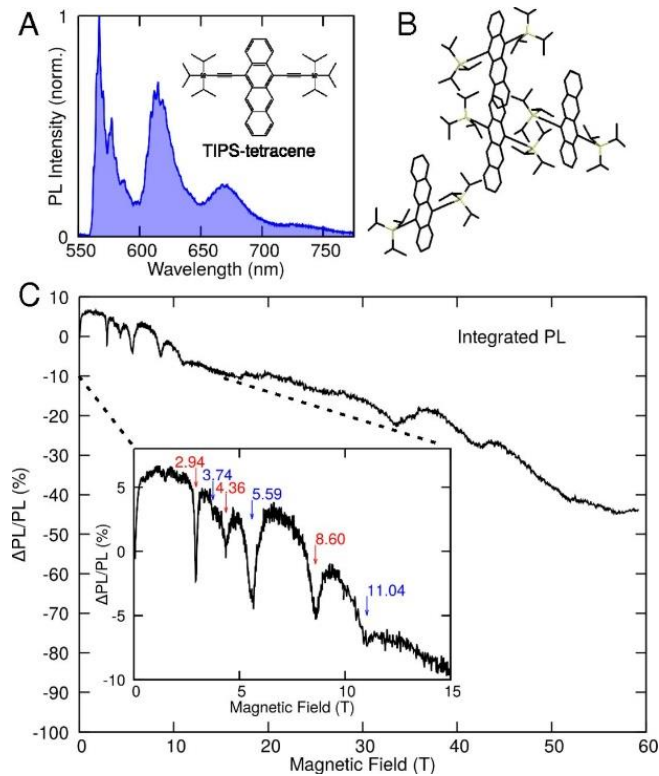
除了 NSF 的经费外，MagLab 连续获得佛罗里达州的经费支持，去年获得了 1200 万美元。作为回报，佛州获得了 6.57 倍的经济效益。未来 20 年，MagLab 将为佛州产生 24 亿美元的经济效益，提供 2.5 万工作岗位。

## 2. 欧洲强磁场实验室

- **强磁场探测有机材料中的多激子态**

分子间偶联在有机系统中的电荷传输和激发态动力学中起关键作用。分子间相互作用影响的一个关键例子是单线态激发过程，它涉及在一个分子上激发单重态激子产生相邻分子上的两个三重态激子。这种分子间成对产生过程有可能提高光伏技术的效率，超越 Shockley-Queisser 极限，并已开始应用于外部量子效率超过 100% 的光伏发电。单重态分裂领域的一个关键挑战是如何量化分子间自旋耦合的强度。





为了解决这个问题，法德等国的研究团队应用脉冲（68T）和稳态（30T）磁场来诱导自旋能级交叉，从而能够测量有机半导体中三重态激子间的交换相互作用。在磁场中明暗配对态混合，激发态发射减弱，产生自旋能级结构的光学特征。使用典型的单重态分裂分子，我们提取到范围在 0.4-5.0meV 的不同交换值。进一步研究表明，交换相互作用的灵敏度可用于区分不同位点的光学特征。

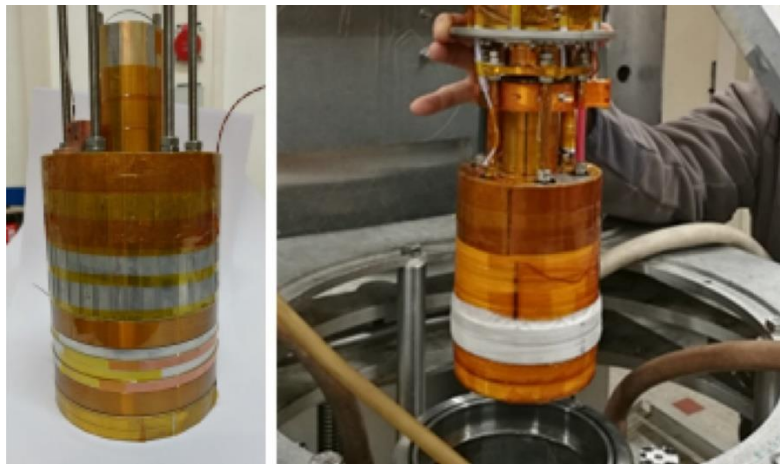
这种定量探测激子自旋相互作用的方法为理解分子构象在自旋耦合中的作用提供了机会，并为光电子和自旋电子器件中激子相互作用的分子设计铺平了道路。

*Cite: S. L. Bayliss, et al. PNAS 115, 5077 (2018)*

装置：68T 脉冲磁体，30T 水冷磁体

- 7T 金属绝缘高温超导内插磁体

目前世界上全超导高场磁体的代表有美国 MagLab 实验室 32T 的最高记录和日本东北大学 24T 的 Cryogen-free 磁体。Grenoble 的项目旨在建造一个 10T 高温超导 (HTS) 内插磁体, 工作在 20T 的背景场中。目前这个背景场利用现有的大口径 (170 mm) 水冷磁体来实现。该设计依赖于 REBCO 涂层导体, 因为它们在高场下具有良好的电气和机械性能, 并且有足够长的商业导体可供采购。



建造 HTS 内插磁体在几个方面仍然具有挑战性, 其中失超保护是一个微妙的问题, 因为这种材料失超不均匀并且传播缓慢。法国强磁场实验室发展了金属绝缘概念 (MI), 即将 Hastelloy 金属带与 HTS 带共同绕制, 用于机械加固以及电气保护。目前已经建成了一个带有两个双扁平线圈的内插磁体模型, 每个线圈都经过多次失超锻炼并在过流条件下检验合格。

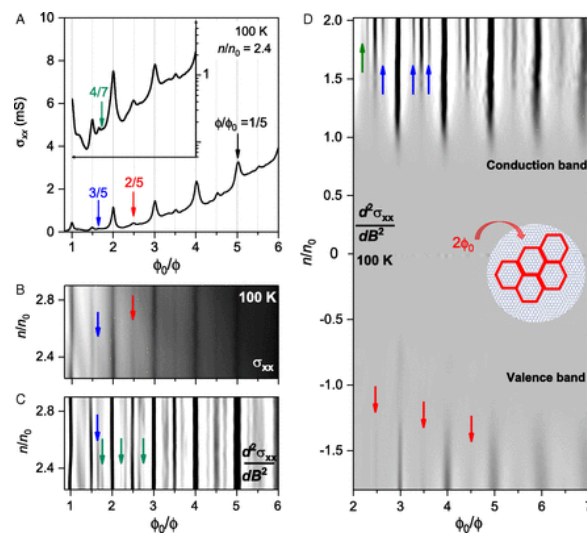
零场测试时内插磁体模型达到 9.5T 磁场, 电流密度  $873\text{A}/\text{mm}^2$ 。在 20T 外场, 4.2K 低温下获得总共 26.9T 磁场, 电流密度  $658\text{A}/\text{mm}^2$ , 电流 415A, 是最终产品设计电流的 2 倍。这是朝 30T 以上全超导磁体迈进的重要一步。

*Cite: [P. Fazilleau, et al. Supercond. Sci. Technol. 31, 095003 \(2018\);](#)*

*[T. Lécrovis, et al. Supercond. Sci. Technol. 31, 055008 \(2018\)](#)*

## ● 石墨烯超晶格中场的量子化与布洛赫态之间的相互作用

在强磁场中，将通量量子的分数添加到超晶格单位晶胞中，导致二维石墨烯超晶格的电阻的高温量子振荡，称为 Brown-Zack 振荡。曼彻斯特大学的研究人员与荷兰强磁场实验室合作在更高电子浓度和更高磁场（30T）观察这种振荡。可以看到源自高阶磁性布洛赫态 ( $p > 1$ ) 的电导中的分形图案，其与带结构计算很好地吻合。尽管半个多世纪以前就有预言，但直到现在才实现了令人信服地观测和模拟这些有趣的电子状态。



Cite: [R. K. Kumar, et al. PNAS 115, 5135 \(2018\)](#)

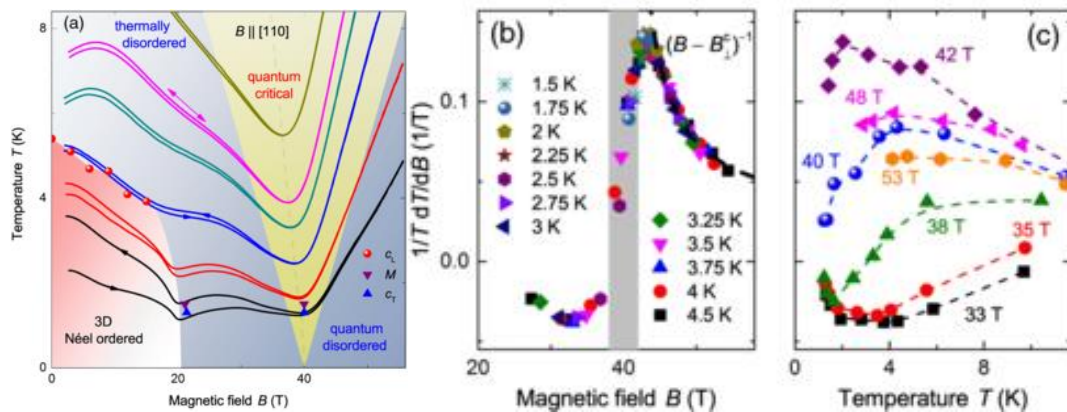
## ● 自旋 1/2 反铁磁链的量子临界性

横向场 Ising 自旋链在量子统计和凝聚态物理中起着重要作用，因其分析和数值方法的严格可解性，可以精确地实现对相关物理的定量理解。然而，在研究真实材料的量子临界行为时从实验上实现这样的范式模型仍非常具有挑战性。

通过在脉冲强磁场中进行磁化、声速和磁热效应测量，来自奥格斯堡、科隆、德累斯顿和东京的研究人员已经确定了由 Ising 型自旋 1/2 反铁磁链材料  $\text{BaCo}_2\text{V}_2\text{O}_8$  中的横向场引起的量子临界状态。



在约 40T 的量子临界状态下，系统是无序的，并且热能比链内交换相互作用小得多。高场实验结果表明，Grüneisen 参数在接近量子临界点时作为磁场的函数遵循通用偏差，但它随着临界场温度的降低而收敛。这些特征共同指向潜在量子临界点的一维横向场 Ising 普适类。



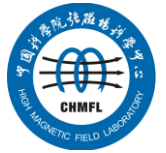
Cite: [Z. Wang, et al. Phys. Rev. Lett. 120, 207205 \(2018\)](#)

装置：脉冲磁体

● HFML-FELIX 获国家资助

总额达 1.38 亿欧元的荷兰“国家大科学装置路线图”资助计划举行颁奖仪式，HFML-FELIX 是获奖的十项科研基础设施之一，教科文部长颁发了资助金 1078.5 万欧元。





自由电子激光红外实验室 (FELIX) 和高场磁体实验室 (HFML) 是两个独特的可在极端条件下进行研究的科研基础设施。FELIX 产生高亮度的红外和太赫兹辐射, 具有前所未有的波长调制范围, HFML 可产生尽可能高的稳态磁场。将这两种世界一流的设施结合在世界范围内是独一无二的。HFML-FELIX 使研究人员能够在极端条件下研究物质, 并进入“未知领域”, 包括发现生物标记物和靶向药物的新途径, 用于更有效数据存储的超快磁性切换以及具有潜在应用的新型智能材料等。

这笔国家资助金将扩大其自由电子激光装置的功能, 并建设三个专门的实验站: “分子 ID 实验室” 可以分析复杂的混合物并可以快速准确地分离和识别分子结构; “凝聚态物质实验室” 用于研究凝聚态、磁性材料与强太赫兹辐射的相互作用; 以及一个开发强磁场与强太赫兹辐射结合新功能的实验室。

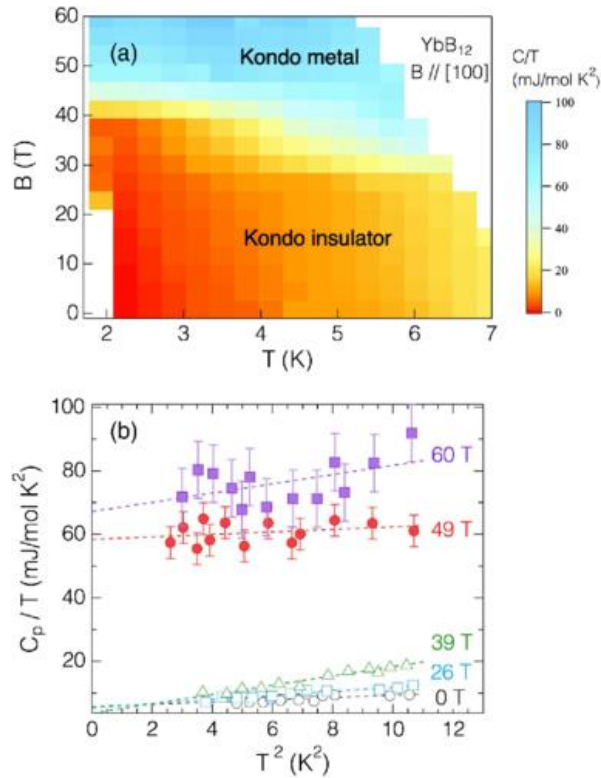
### 3. 日本强磁场实验室

#### ● 强磁场中重电子的检测: Kondo 绝缘体在磁场中电子态的阐述

东京大学强磁场实验室的研究团队及合作者利用 60T 脉冲磁体, 测量了 Kondo 绝缘体  $\text{YbB}_{12}$  的比热, 发现强磁场金属相中的电子比普通电子重几十倍。这直接证明了 Kondo 效应是一种典型的多体电子相关效应。

尽管 Kondo 绝缘体自 1960 年代以来已经研究了半个多世纪, 但由于强电子关联效应, 对绝缘化机理的还不是很清楚。最近, 由于拓扑性和中性费米粒子等新概念的提出, Kondo 绝缘体再次吸引了很多人的兴趣。这次在强磁场下的金属态中发现具有强大的近藤效应应属首次。

该研究为绝缘体和金属之间的区别这一问题提供了新的认识。近藤效应是典型的多体电子相关效应，因此这一发现对于理解非常规超导和介观量子涨落也很重要。



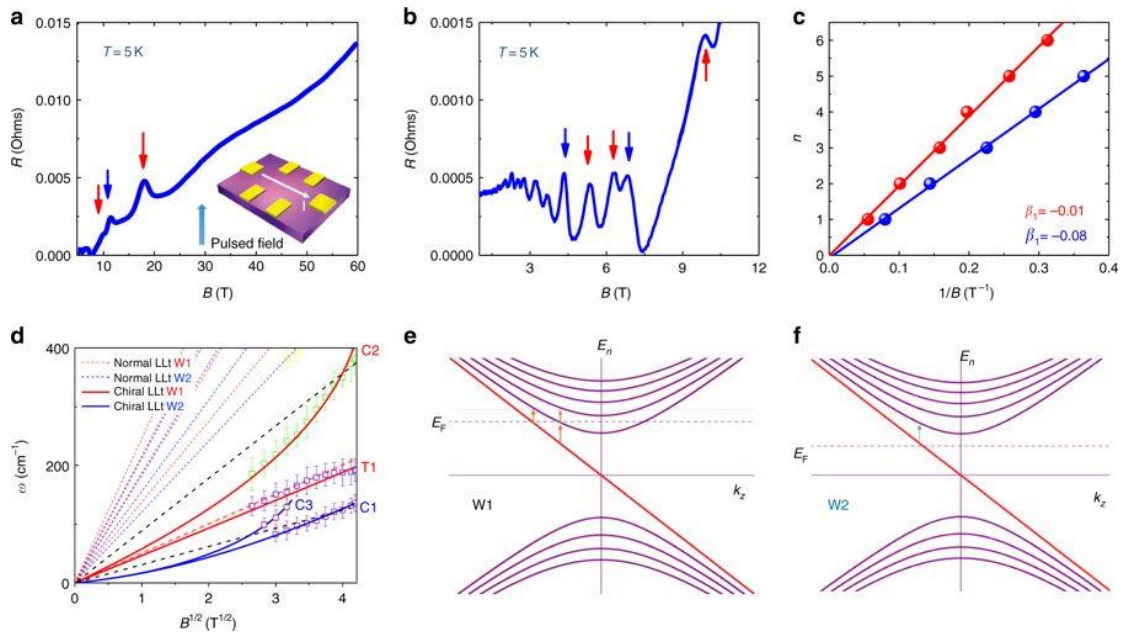
Cite: [T. T. Terashima, et al. Phys. Rev. Lett. 120, 257206 \(2018\)](#)

## 4. 武汉脉冲强磁场科学中心

### ● 复旦大学修发贤教授团队在磁光谱中观测到手性朗道能级

近年来，外尔半金属作为一种新型拓扑半金属获得了广泛的关注。手性反常是外尔半金属中最奇特的性质之一，手性磁效应的根本机制在理论上被认为是磁场下产生的手性朗道能级所导致的。然而，尽管运输上的负磁阻被广泛报道，作为外尔半金属的重要特征，这一类特殊朗道能级却始终没有被实验直接

观察到。其难度在于苛刻的实验条件和合适的材料体系：既要找到一种能在强磁场下观察朗道能级的手段，又要获得常高质量且低费米面的晶体。



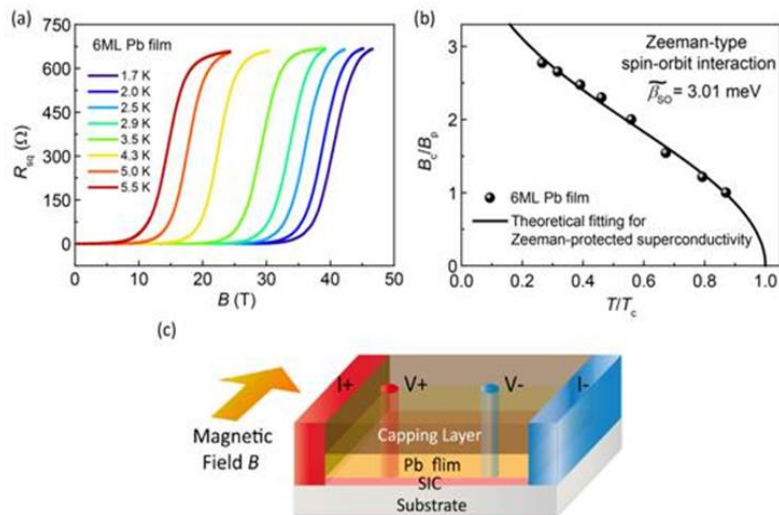
近日，修发贤教授团队利用强磁场红外光谱，同时结合磁场输运、光谱学、能带计算和其他样品表征手段，对外尔半金属砷化铌开展了系统而深入的研究，首次在砷化铌中探测到手性朗道能级。研究表明，与所有已知的朗道能级的光学跃迁发生在零动量点不同，外尔半金属砷化铌中观测到的朗道能级的光学跃迁来自于非零动量处，并且跃迁频率随费米面的不同也表现出强烈的变化。磁光谱中的诸多证据也清楚地证明了砷化铌中存在着独特的手性朗道能级。该研究为外尔半金属中的手性磁效应提供了坚实的基础，也为区分手性磁效应和其他非本征效应提供了有力的判断依据，将在光学方面有广泛的应用，还进一步拓展了外尔半金属的器件应用前景。

*Cite: X. Yuan, et al. Nature Comm. 9, 1854 (2018)*

● **北京大学王健教授团队在超薄单晶铅膜界面超导研究上获新进展**

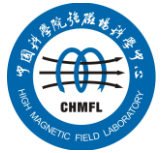


超导体自百年前发现以来，因其具有无耗散的零电阻和完全抗磁特性，在很多方面展现出巨大的应用前景，从而引起了学术界和工业界的持续广泛关注。近年来，随着超薄单晶薄膜或器件制备工艺的提高，二维超导晶体的研究逐渐成为国际研究的前沿热点之一，其中强自旋轨道耦合的二维晶体超导体更是为人们探索新奇量子现象提供了一个广阔的平台，如拓扑超导态的探索等。然而，大部分二维超导体都具有面内中心反演对称性，无法自发产生塞曼保护超导电性，大大限制了这一前沿领域的研究范围和潜在应用。



近日，王健教授团队通过使用铅的条状非公度相作为铅膜和硅衬底的界面，用超高真空分子束外延技术成功制备出一种宏观面积的、塞曼保护的二维超导体。该团队通过系统的低温强磁场实验和第一性原理计算，发现该体系的超导电性可存在于超过 40 特斯拉的平行强磁场中，条状非公度相中特殊的晶格畸变会延伸至铅膜中，从而在该体系中引入很强的塞曼自旋轨道耦合。同时，新的微观理论也给出了强杂质情形下各种自旋轨道耦合及散射效应对二维超导临界场的影响并定量地解释了塞曼保护超导电性的物理机制。该研究为二维晶体超导体中人工引入塞曼保护的超导电性机制开辟了途径，预示出人们有望利用界面调制在二维超导体中发现新的非常规超导特性，而且这种宏观尺度





强自旋轨道耦合下的二维超导还为拓扑超导的探索提供了新的平台，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。

该工作中强磁场下的实验在武汉脉冲强磁场科学中心和合肥中科院强磁场科学中心完成。

*Cite: [Y. Liu, et al. Phys. Rev. X 8, 021002 \(2017\)](#)*

### ● 武汉脉冲强磁场科学中心组织开展国际评估

“武汉国家脉冲强磁场科学中心建成的脉冲强磁场设施具备优异的实验站功能，为众多前沿科学领域提供了极强的用户服务，发表了大量高水平和高影响力的论文，已跻身国际领先的脉冲强磁场设施。”5月8日，国际评估专家组组长、德国德累斯顿强磁场实验室主任 Joachim Wosnitza 教授在评估会上宣读了评估结论。

5月7日至8日，国家脉冲强磁场科学中心组织专家对脉冲强磁场装置进行了国际评估，本次评估是继2013年10月后开展的第2次国际评估。副校长骆清铭出席会议并致辞。

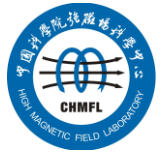
本次评估旨在对装置过去5年的运行和发展情况做一次全面的评价，并对中心今后的发展给出建议。评估专家组由美国、德国、法国、日本、荷兰的国家强磁场实验室主任以及强磁场领域方向的24位院士和专家组成。

评估报告会上，强磁场中心主任李亮教授、彭涛教授、朱增伟教授，以及用户代表王健教授，分别作脉冲强磁场实验装置开放运行总体情况、装置工程技术、装置下的科学研究以及强磁场装置用户实验等四个专题汇报。评估专家组在听取汇报和查询资料的基础上，实地考察了装置的开放运行情况。完善的

实验记录，规范的操作流程，精准的数据结果，丰硕的科研成果，吸引了专家们专注的目光。专家们对“该中心自上次国际评估以来所取得的快速及重大的进展印象极为深刻”，一致认为装置所做出的科研成果在“世界范围内、在国际同类大型实验装置中都具有很强的竞争力”，“能在如此短的时间内取得如此显著的成效令人赞叹”。

脉冲强磁场实验装置是部属高校承建的首个国家重大科技基础设施，也是目前我国部属高校唯一通过验收并开放运行的国家重大科技基础设施。该装置于2008年4月开工，2013年10月建设完成，2014年10月通过国家验收并正式投入开放运行。截止2018年3月，装置累计开放运行30722小时，已为北京大学、清华大学、中科院物理所、美国斯坦福大学、英国剑桥大学、德国德累斯顿强磁场实验室等国内外62家高校和科研院所开展科学研究754项，在Science、Nature子刊、PRL、JACS等高水平期刊发表SCI收录论文553篇，有效推动了我国基础前沿学科的发展。





## 5. 中科院强磁场科学中心

- 模拟生物酶设计制备氧还原反应电催化剂研究方面取得新进展
- 超级电容器电极材料掺杂锰氧化物的电化学循环稳定性研究取得新进展
- 国家稳态强磁场装置现状与发展战略研讨会召开 邓向阳等为强磁场安徽省实验室揭牌
- 强磁场中心转化医学研究团队荣获“第22届中国青年五四奖章集体”
- 强磁场中心在 Chemical Society Reviews 发表有关碳基复合纳米凝胶的综述性文章
- 基于金属有机框架材料构建癌症诊疗一体化平台研究取得新进展
- SHMFF 用户在蛋白质范德华作用力检测研究中取得重要进展
- 首次在实空间观测到磁浮子
- SHMFF 用户关于超薄单晶铅膜界面超导研究新进展
- 揭示磁场驱动三维阻挫磁性材料的量子临界现象
- SHMFF 用户实验观测到碳化钨中的三重简并点和费米弧表面态
- 新一代高选择性 PDGFR $\alpha$  激酶抑制剂研发成功

详见: <http://www.hmfl.cas.cn/xwzx/tt/>