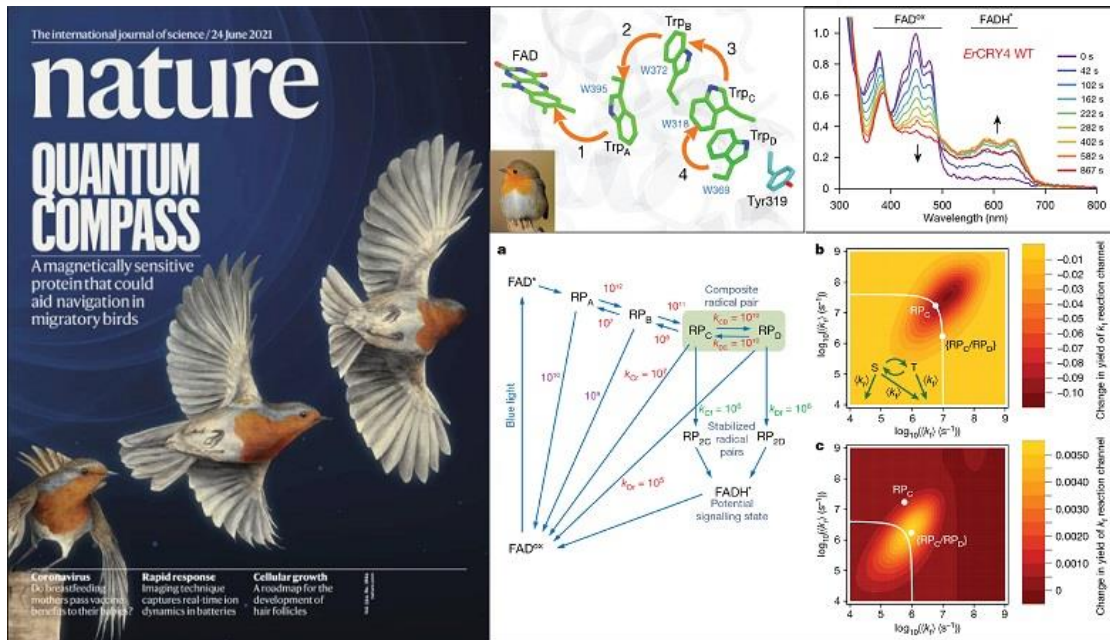


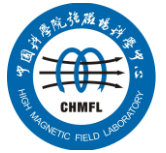
国内外强磁场实验室 科研动态

2021 年第二季度



中国科学院强磁场科学中心

2021/7/13



前 言

本科研动态的宗旨是为强磁场领域的科研技术人员提供国际上最新的科研成果以及各强磁场实验室发展动向，每季度发布一期。以下是美国、欧洲、日本和中国的强磁场实验室简介。

美国国家强磁场实验室

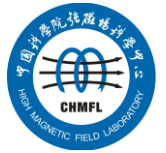
National High Magnetic Field Laboratory 又称 MagLab，是目前世界上规模最大，实验设施最全，用户最多的强磁场实验室。其稳态场部分位于 Tallahassee，脉冲场部分位于 Los Alamos，另有一个 high B/T 组位于 Gainesville。MagLab 于 1994 年建成并不断升级改造，创造并保持了多项世界纪录。

欧洲强磁场实验室

European Magnetic Field Laboratory (EMFL) 是由法国 Grenoble 的稳态场、Toulouse 的脉冲场、荷兰 Nijmegen 的稳态场以及德国 Dresden 的脉冲场实验室于 2015 年组合而成，有统一的用户申请入口。

日本强磁场实验室

日本的强磁场实验室没有整合在一起。比较著名的实验室有东京大学的 MegaGauss 实验室，东北大学的超导材料高场实验室 (HFLSM) 和 NIMS 的筑波磁体实验室 (TML)。

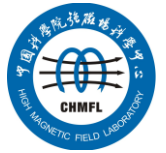


武汉脉冲强磁场科学中心

武汉的强磁场实验室隶属于华中科技大学，全称为国家脉冲强磁场科学中心（筹），其磁体装置 2014 年通过国家验收，建有 12 个三种类型的系列脉冲磁体，最高场强达到 90.6 T，位居世界第三、亚洲第一。

中国科学院强磁场科学中心

中国科学院强磁场科学中心位于合肥科学岛，其建设的稳态强磁场实验装置 2017 年通过国家验收，是世界上仅有的两个稳态磁场超过 40T 的实验室之一。稳态强磁场实验装置有 3 台水冷磁体创造世界纪录，混合磁体最高磁场达到 42.9T，磁体技术和综合性能处于国际领先地位。



科 研 动 态

1. 美国国家强磁场实验室

- **实验室主任 Greg Boebinger 入选美国国家科学院院士**

MagLab 实验室主任 Greg Boebinger 因物理学方面的成就获得了美国国家科学院院士称号。此前他已获得美国艺术与科学学院、美国物理学会、美国科学促进会会员等荣誉。

Boebinger 的主要研究领域是高温超导和量子霍尔效应，同样重要的是在 MagLab 实验室主任的任上（2004 年至今）促进了数以千计的科学家前来利用实验装置，以及与实验室专家合作。此前他在 LANL 和贝尔实验室工作过。

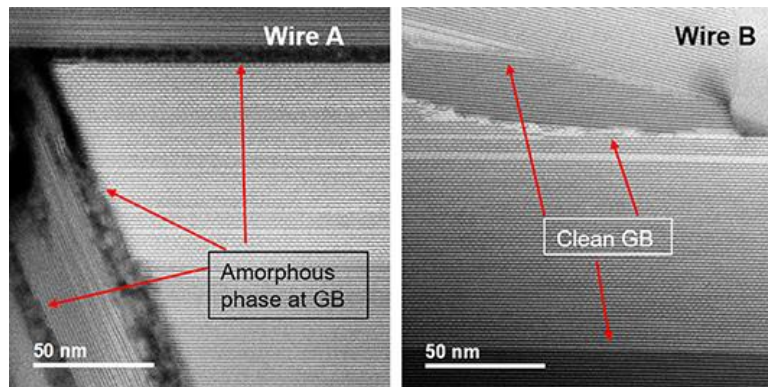
美国国家科学院 (NAS) 是一个由杰出学者组成的私人非营利组织，这些杰出学者由同行推选，以表彰他们对研究做出的杰出贡献。今年 5 月，NAS 有 120 名新院士加入，现有约 2,400 名院士和 500 名国际院士，其中约 190 名获得了诺贝尔奖。NAS 致力于推动美国的科学发展，其成员是国际科学界的积极贡献者。MagLab 的首席科学家 Laura Greene 也是美国国家科学院院士。

- **提高高温超导线性能**

使用高分辨率扫描电镜，研究人员致力于了解加工方法如何影响 Bi-2212 的晶粒。通过优化晶粒的排列，使材料更有效地承载超导电流。

研究人员发现，单个晶粒具有长矩形形状，其较长的一侧指向与金属丝相同的轴——所谓的双轴纹理。它们沿着电线的路径以圆形图案排列，因此方向

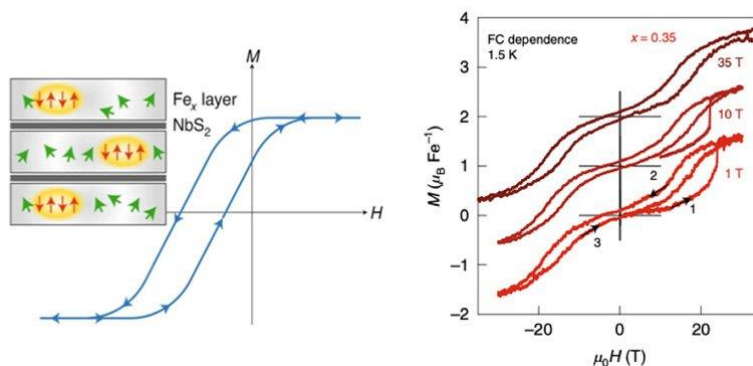
仅在很小的范围内可见。这两种特性共同赋予 Bi-2212 晶粒准双轴织构，结果证明这是超电流流动的理想配置。



Cite: [T. A. Oloye et al. Supercond. Sci. Technol. 34, 035018 \(2021\)](#)

● 共存的反铁磁和自旋玻璃序之间的交换偏置

一块窗玻璃和一块石英都是透光的，但它们的原子结构却大不相同。石英在原子水平上是结晶的，而窗玻璃是无定形的。类似的现象也可能发生在有磁性的固体中，如反铁磁性（有序）和自旋玻璃（无序）的原子水平上的磁性。MagLab 的用户研究了 Fe_xNbS_2 ，发现单晶的交换偏置大约 1T，比薄膜高两个量级。这项工作描述了有序和无序磁态之间的相互作用（交换偏置），以及材料的磁性如何因此而改变。



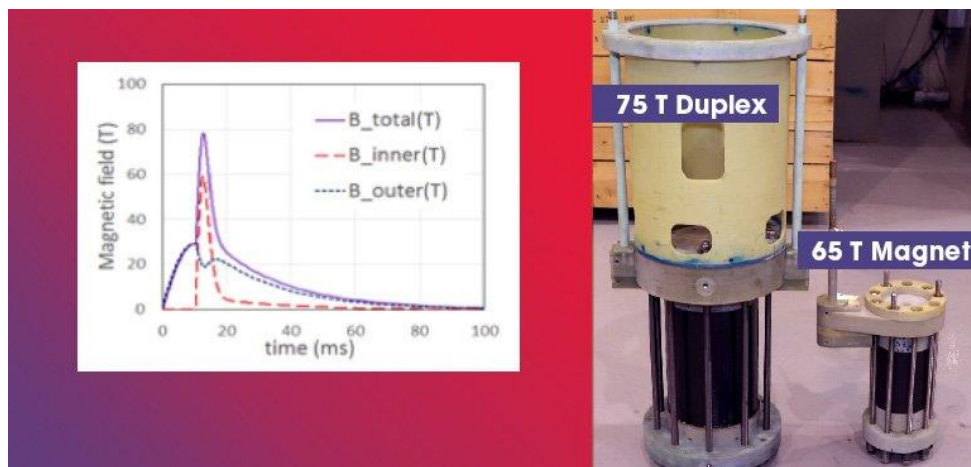
Cite: [E. Maniv, et al. Nature Phys. 17, 525–530 \(2021\)](#)

装置：水冷磁体

● 75T 磁体的首个科学成果

MagLab 的脉冲场设施开发了一种能为用户提供 75T 脉冲的新磁体。该磁体设计有两个独立的嵌套线圈，由两个独立的电容器组供电，使用现有的 16 kV、4 MJ 电容器组可产生高达 76.8 特斯拉的磁场。

在这个磁体上，科研人员观察到 YbB_{12} 在 46T 以上的量子振荡。



Cite: J. R. Michel et al. IEEE Trans. Appl. Supercond. 30, 0500105 (2020) ;

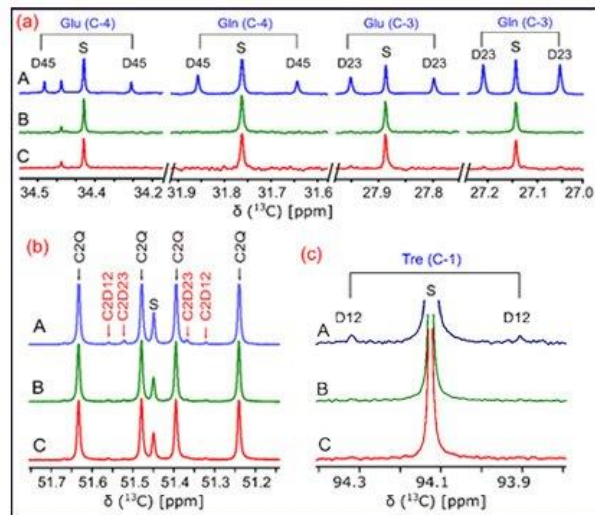
Z. J. Xiang et al. Nature Phys. 17, 788–793 (2021)

装置：脉冲磁体

● HTS NMR 探针跟踪昆虫休眠期间的代谢周期

昆虫在冬季化蛹期间在厌氧（无氧）条件中生存的能力是通过有氧呼吸的周期性循环来实现，以补充能量和清除废物。在这些短暂的近乎觉醒时期发挥作用的细胞机制可以提供线索，帮助提高人体器官储存和移植的成功率。

同位素 NMR 谱可用于观察生物体休眠和唤醒期间细胞代谢的变化。MagLab 用户观察到线粒体有氧呼吸会产生活性氧 (ROS)，而 ROS 在代谢抑制期间会下降。当 ROS 变低时，唤醒被触发。

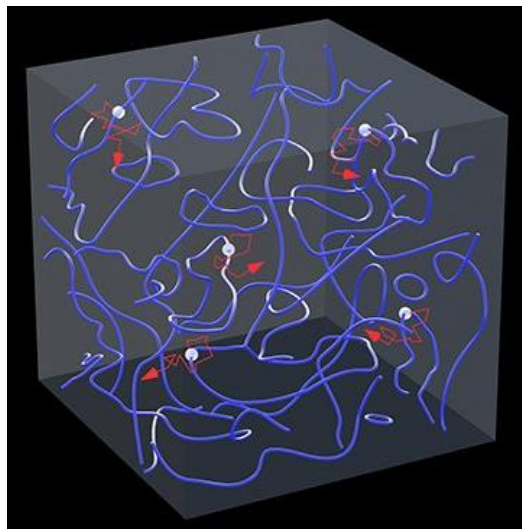


Cite: [C. Chen, et al. PNAS 118, e2017603118 \(2021\)](#)

装置：超导磁体（NMR）

● 研究人员将超流体湍流中的涡旋运动可视化

MagLab 的研究人员设法将量子流体中的涡流管可视化，这一发现可以帮助研究人员更好地了解量子流体及其他领域的湍流。



研究小组研究了超流氦。通过将氖气和氦气的混合物注入超流氦中，氖气凝固并形成微小的冰粒，可用作流体中的示踪剂。观察发现当涡流管出现时，涡流中的示踪粒子以随机模式移动，平均而言，会迅速远离起点。这些被困示

踪剂的位移随着时间的推移似乎比常规分子扩散更快——这一过程被称为超扩散。

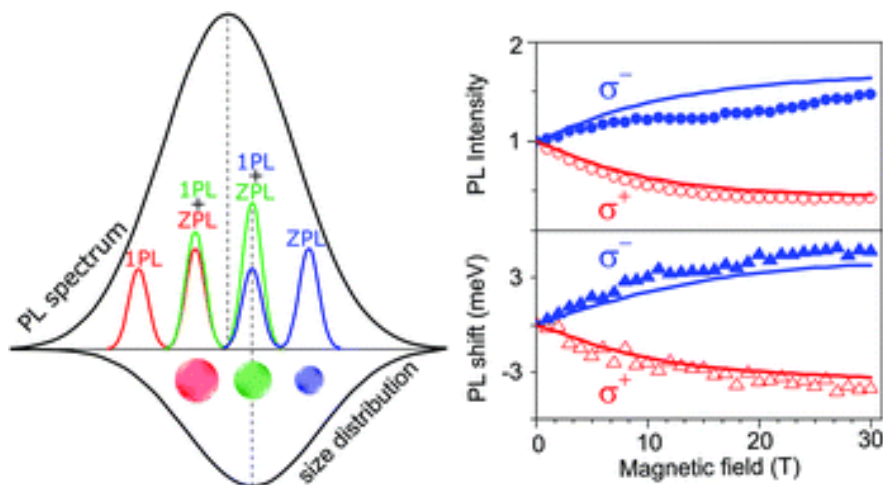
这种可视化技术并不新鲜，但这些研究人员开发了一种新算法，使他们能够区分被困在涡流上的示踪剂和未被困住的示踪剂。

Cite: Y. Tang, et al. PNAS 118, e2021957118 (2021)

2. 欧洲强磁场实验室

● 强磁场中 CdSe 纳米晶的极化发光

胶体半导体纳米晶在发光二极管、激光技术、场效应晶体管、太阳能电池和生物标签等领域有广泛的应用。外部磁场已被用作一种独特的工具，不仅可以解决磁光特性和自旋相关现象，还可以确定纳米晶体的基本光学特性，如激子的吸收和发射。



来自欧洲多所大学以及奈梅亨的强磁场实验室的研究人员对嵌入玻璃基质中的 CdSe 纳米晶进行了实验。他们在高达 30 T 的磁场中测量了偏振光致发光，并观察到了令人费解的行为。该团队开发了一个模型，该模型考虑了暗激子的

零声子和声子辅助复合对纳米晶集合发射光谱的累积贡献，因而很好地描述了所有不寻常的实验结果，并且可以轻易扩展到其他胶体纳米晶。这些结果证明了胶体纳米晶可以在基于自旋电子学和量子信息的应用中发挥重要的作用。

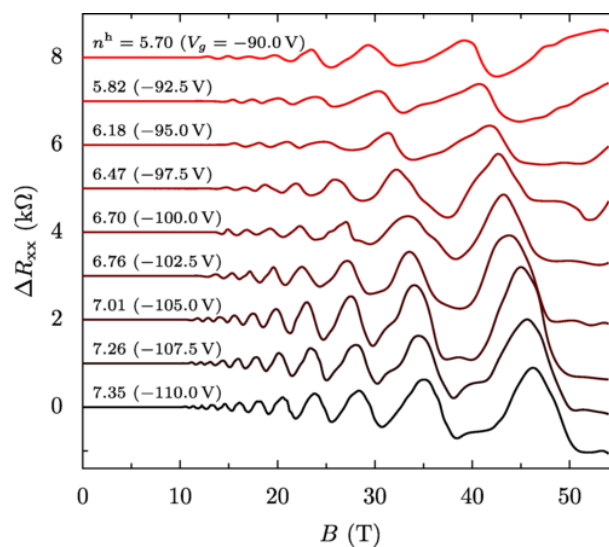
Cite: G. Qiang, et al. Nanoscale 13, 790 (2021)

装置：水冷磁体

● 单层 WSe₂ 的 Shubnikov-de Haas 振荡

过渡金属二硫化物是二维层状材料，显示出有趣的电子特性，尤其是在减薄到单层时。

法国脉冲强磁场实验室在高达 55T 的脉冲磁场中测量了 WSe₂ 单层 4.2K 下的磁阻，得到了几种空穴的密度。由于重原子钨以及电子相互作用的存在，复杂的 Shubnikov-de Haas 振荡可归因于部分分解、大塞曼分裂的价带。



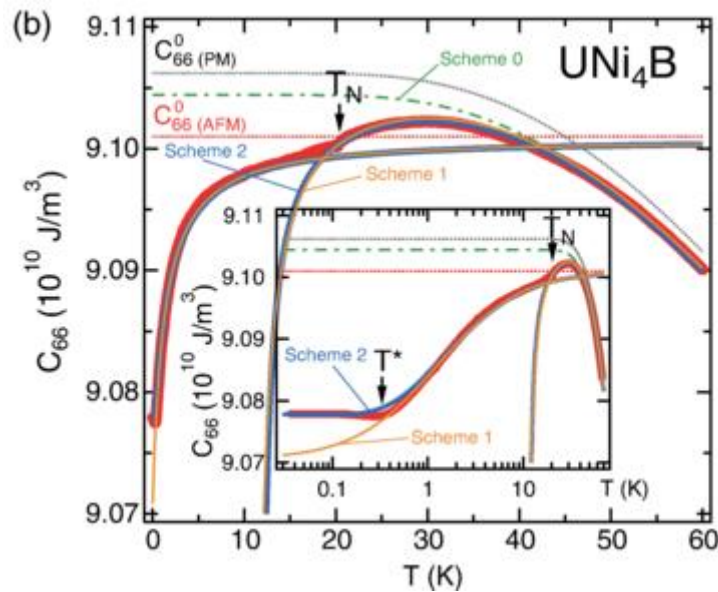
Cite: B. Kerdi, et al. Phys. Rev. B 102, 155106 (2020)

装置：脉冲磁体

● UNi₄B 磁相中的电四极贡献

来自日本、捷克和德国的研究人员合作，成功地确定了电四极子在蜂窝层状化合物 UNi_4B 的磁序中保持它们的自由度，而不会在磁涡中心有序排序。

在这项研究中，合作伙伴将能够灵敏检测轨道自由度的超声技术与德国脉冲场实验室以及日本东北大学高场实验室的强磁场相结合，从而得以对 UNi_4B 涡旋磁态的电四极子进行精确测量，获得磁涡旋与电四极子之间的强相关性。



Cite: [T. Yanagisawa, et al. Phys. Rev. Lett. 126, 157201 \(2021\)](#)

装置：脉冲磁体，水冷磁体

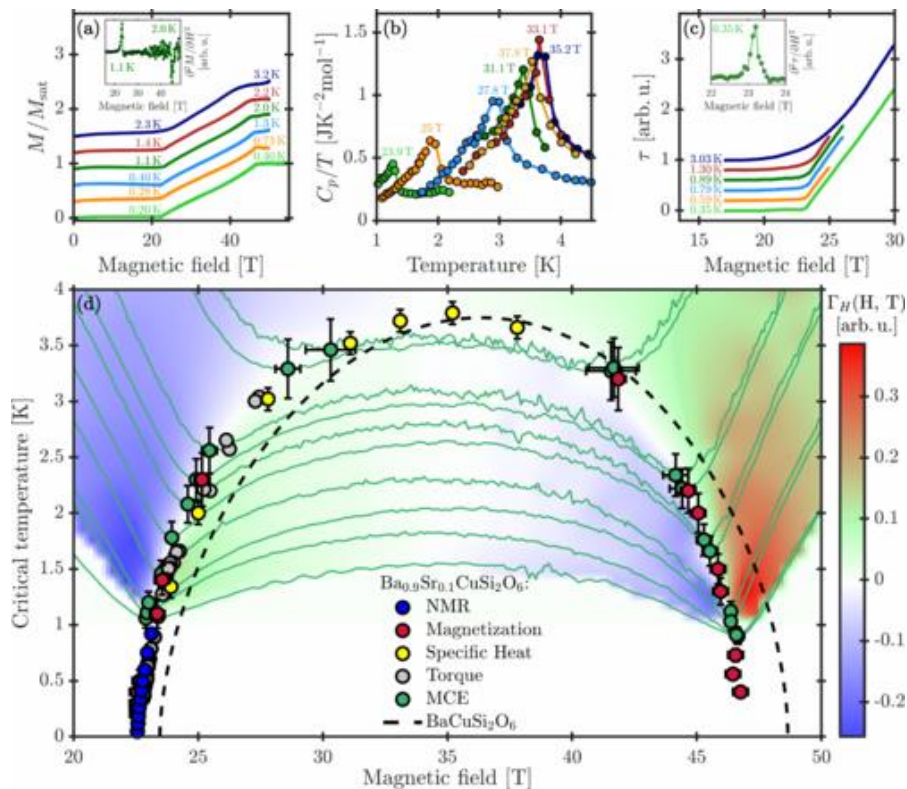
3. 日本强磁场实验室

- 通过汉紫中的 Sr 取代揭示三维量子临界性

经典和量子相变及其伴随的临界性和普遍性概念是统计热力学的基石。受控量子相变的一个很好的例子是有隙量子磁体的场诱导有序。受古代颜料汉紫

($\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$)，同时也是一种具有异常临界特性的准二维材料的启发，研究人员对 $\text{Ba}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CuSi}_2\text{O}_6$ 进行了完整的分析。

通过中子谱测量零场磁激发并推导出自旋哈密顿量，然后将磁化强度、比热、扭矩和磁热测量与量子相变附近的核磁共振研究相结合来探测场诱导转变。通过贝叶斯统计分析和大规模量子蒙特卡罗模拟，证明了 3D 量子临界缩放是掺杂引起的结构简化来恢复的。



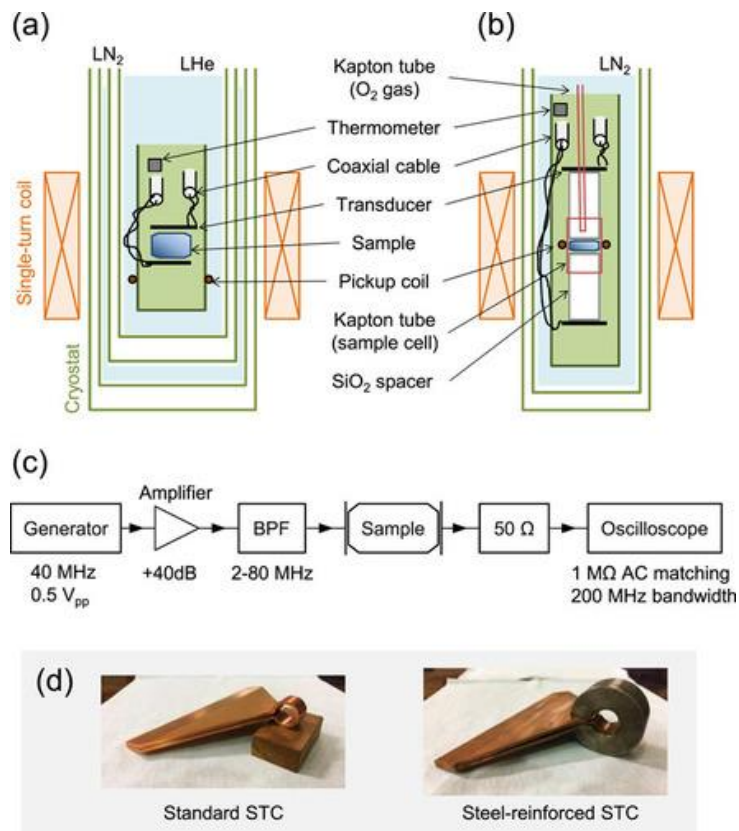
Cite: [S. Allenspach, et al. Phys. Rev. Research 3, 023177 \(2021\)](#)

装置：脉冲磁体

● 单匝脉冲磁体中的超声测量装置

超声是研究凝聚态物理众多现象的有力手段，因为声波与结构、磁、轨道和电荷自由度强烈耦合。东京大学强磁场实验室在磁场超过 100T，典型脉冲时间 $6\mu\text{s}$ 的单匝线圈中实现了超声测量，获得了 MnCr_2S_4 、 $\text{Cu}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}]\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和

液氧的超声结果。单匝线圈中相对声速变化的分辨率约为 $\Delta v/v \sim 10^{-3}$ ，这足以研究各种场致相变和临界现象。



Cite: [T. Nomura, et al. Rev. Sci. Instru. 92, 063902 \(2021\)](#)

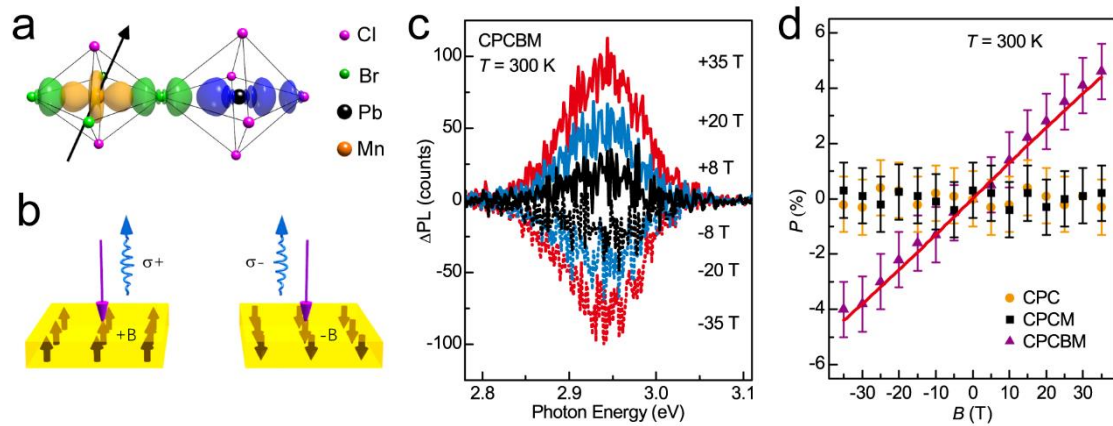
装置：脉冲磁体

4. 武汉脉冲强磁场科学中心

● 韩一波教授团队在钙钛矿激子自旋极化效应研究上取得突破性进展

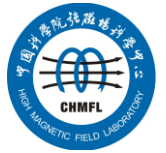
磁场诱导的半导体激子自旋极化效应是自旋电子学领域的重点研究方向，是实现可应用的自旋极化发光二极管、自旋场效应管等磁电子器件的基础。在第一代以 GaAs 为代表的 III-V 半导体和第二代以 CdSe 为代表的 II-VI 半导体中分别观测到 43%和 100%自旋极化的本征磁场效应。然而，由于热涨落会使自

旋分布随机化，这些自旋极化均需要在液氦温度才能实现，极大地限制了其应用范围。



有别于传统半导体，含铅钙钛矿半导体由于铅离子的巨大轨道角动量以及八面体晶格对称性引发的反键轨道交叠，极有可能存在激子轨道有序、产生轨道场，进而可能成为一个对抗热涨落、增强自旋极化的关键因素。为此，该研究团队设计制备了 CsPbCl_3 钙钛矿纳米晶，利用 Mn 离子掺杂形成 sp-d 交换相互作用在激子中注入自旋，并利用 Br 离子部分取代调控八面体对称性。基于脉冲强磁场设施的磁光实验平台，在正向和反向脉冲强磁场中测量光致发光 (PL) 的圆偏振度来研究磁场诱导的激子自旋极化效应。结果表明，Mn 离子掺杂和 Br 离子取代不仅增强了低温下的自旋极化，而且极大地提高圆偏振度的温度稳定性，首次在室温下观测到激子自旋极化引发的圆偏振发光，圆偏振度达 4.6%。

产生此室温自旋极化光发射的机制可能包含晶格、轨道、自旋等多个因素的相互作用，因此，与中科院强磁场科学中心张蕾研究员、童伟研究员一起研究了不同温度下的晶体结构和磁性离子局域对称性，结果表明 Br 离子的取代引发了晶体从四方向正交相的转变，且磁性离子波函数局域对称性产生破缺。与田纳西大学祝熙翔博士一起研究了偏振激发 PL 谱，发现仅在 Mn 离子掺杂和 Br 离子取代同时存在的条件下才能观测到激子轨道有序引发的 PL 强度减弱效应。



这些实验结果表明，产生室温自旋极化光发射的原因是激子轨道有序。这一发现为利用轨道有序增强自旋极化提供了新的思路，并为钙钛矿半导体材料在自旋电子学领域的应用铺平了道路。

Cite: [K. Zhang et al. Adv. Mater. online \(2021\)](#)

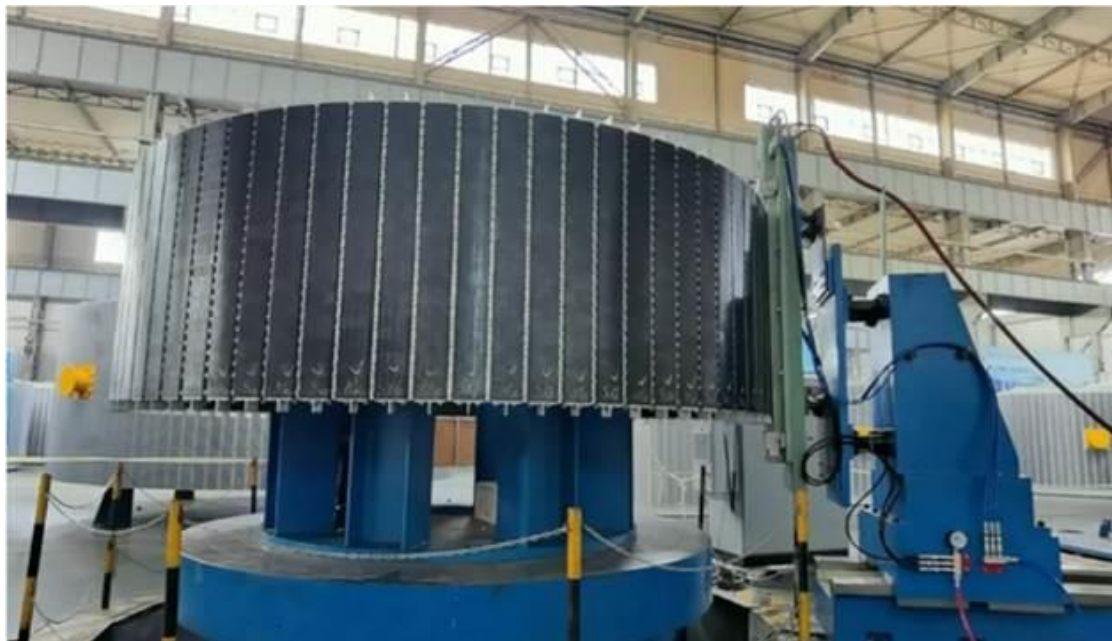
装置：脉冲磁体

● 成功研制国内首台（套）大型永磁电机整体充磁设备

6月9日，由国家脉冲强磁场科学中心与湘潭电机股份有限公司（简称湘电股份）联合研制，国内首台（套）大型永磁电机整体充磁成套设备在湘电股份成功完成了2.5MW直驱永磁风力发电机转子的整体充磁，充磁后的永磁风力发电机通过型式试验，所有测试指标均达到产品技术要求，这标志着我国在大型永磁电机整体充磁技术方面取得重大突破，相关技术及装备研制水平位居世界前列。

永磁风力发电机的转子直径超过4.3米，高度达1.5米，共有84个永磁磁极，每个磁极由20多个磁钢块拼装而成，传统制造过程中通常需对单个磁钢块充磁使其带磁性后再由人工组装到转子表面，带磁性的磁钢拼装难度大，影响磁极组装质量，且操作危险、生产效率低。而使用整体充磁技术后，磁钢可在不带磁性的状态下轻松组装，再采用整体充磁设备对转子永磁磁极进行整体充磁，该技术成功降低了组装难度，同时改善了装配精度，生产效率相比传统制造提高8倍以上，安全性也得到了大幅提升。与国外同类型产品相比，该充磁设备一次即可实现一整个磁极的充磁，而不是分段多次充磁，避免了分段充磁过程中造成的局部退磁，进一步提高了生产效率。

整体充磁技术由中心主任李亮教授率先提出，是将强磁场技术结合国家重大需求的一个重要应用。在李亮教授的带领下，中心研发团队由吕以亮、丁洪发、杨宇平等师生组成，湘电股份研发团队由副总经理刘合鸣高级工程师和朱利民、张文革、成函等工程技术人员组成，他们通力合作，打通了整体充磁技术在工程产品上的应用通道。实验现场，湘电股份董事长周健君强调：“这是以问题为导向，切中大型产品制造过程中生产效率低和生产安全风险大的痛点，采用新技术新工艺，精准施策，努力实现科研与应用场景落地的校企合作典范。”



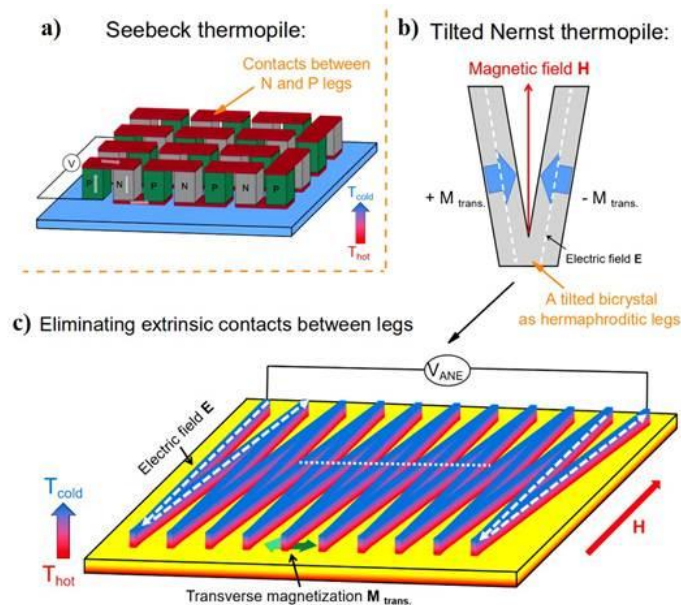
因高功率密度等优势，永磁电机被广泛应用于风力发电、电动汽车、家用电器、工业驱动与控制等领域，且市场潜力巨大。在风力发电方面，我国现有陆上风电装机容量 2.3 亿千瓦，2030 年将达 6.7 亿千瓦，海上风力发电的技术可开发潜力超过 20 亿千瓦，风力发电将为我国 2060 年前实现碳中和的目标贡献重要力量。电动汽车方面，截至 2020 年底，全国汽车保有量达 2.81 亿辆，电动汽车仅有 400 万辆，占 1.4%。而我国《新能源汽车产业发展规划（2021—2035 年）》中指出，到 2035 年，“纯电动汽车成为新销售车辆的

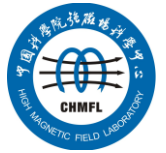
主流，公共领域用车全面电动化”。英国、荷兰等国家以及各大汽车公司也都提出了在 2030 年左右禁售燃油车的计划。

● 日本用户在分子磁性材料研究上取得进展

水的重新定向广泛存在于生物系统和化学反应过程中，具有重要的研究价值。在金属配合物中，水分子围绕金属-氧键进行旋转而重新定向，可能会影响金属配合物的化学和物理性质，虽然最近已有相关的理论研究，但尚未在实验中得到证实。

该研究通过对 Co(II)配合物中配位水分子进行旋转重新定向，观测了 Co(II)配合物的磁各向异性变化：当水分子围绕 Co-O 键旋转 $21.2 \pm 0.2^\circ$ 时，由于 Co(II)离子和水配体之间的 π 相互作用，导致磁各向异性轴发生旋转，单晶的定向磁感应强度沿 a 轴变化约 30%。进一步的 XRD、HF-ESR 等测量和理论计算表明，水分子的重新定向是促成该配合物磁各向异性转变的关键因素。该研究从实验上证明了水的重新定向会对 Co(II)配合物的磁各向异性产生巨大影响，有助于推动分子磁性材料在电子器件、生物医学等领域的应用。





该研究利用脉冲强磁场设施 ESR 实验平台的强磁场实验条件，精确测量了 Co 基单离子磁体的磁各向异性，为相关理论解释提供了重要支撑。

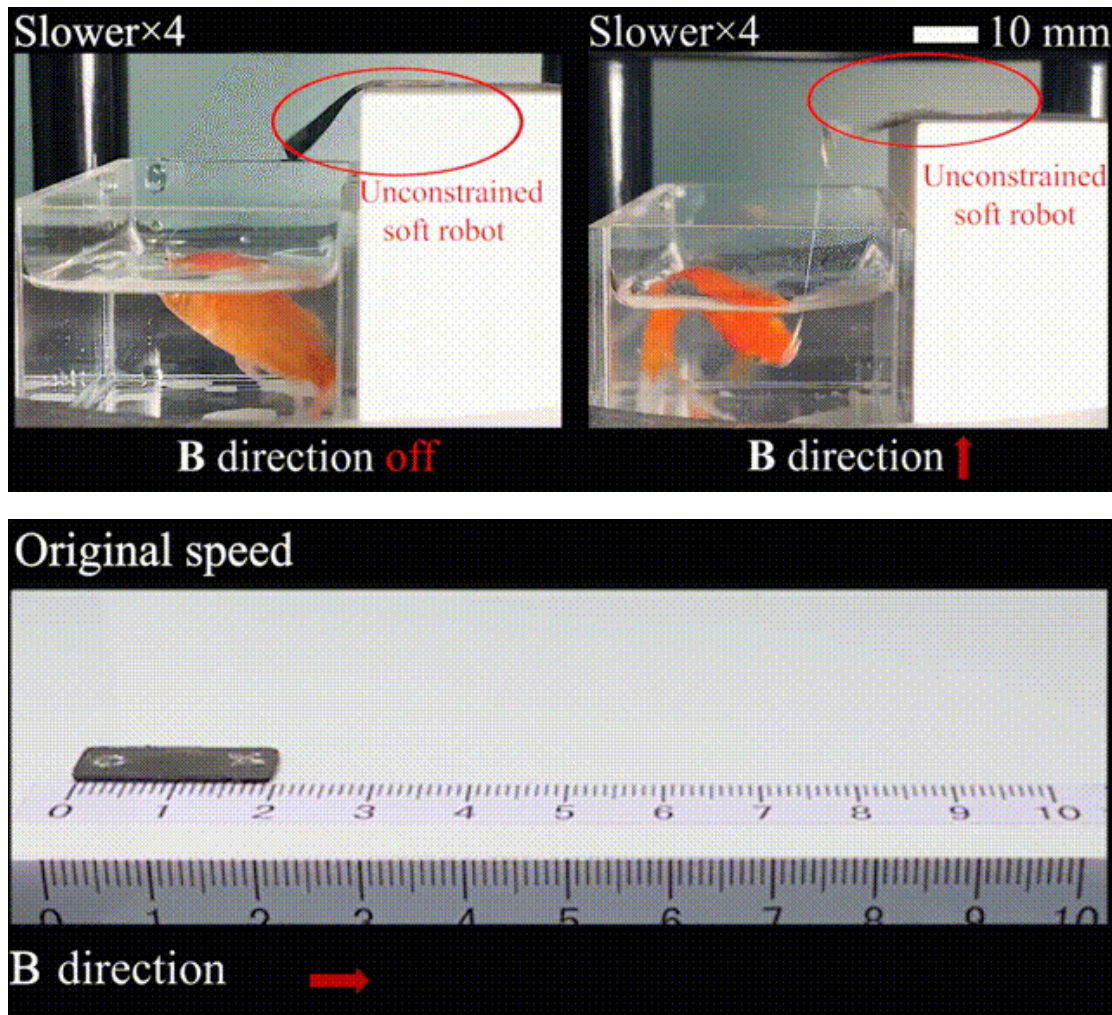
Cite: S. Su, et al. Nature Commun. 12, 2738 (2021)

装置：脉冲磁体（ESR）

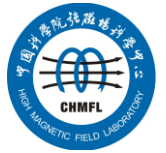
● 李亮教授团队在磁控软体机器人技术研究上取得重要进展

软体机器人具有无限自由度、强连续变形能力和强适应性等特征，在医疗康复、仿生和柔性抓取等多领域已展现出广阔的应用前景。其中，磁控软体机器人技术具有非接触、可控性强和穿透性能好等显著优势，已成为软体机器人领域的研究前沿和热点。然而，现阶段磁性软体机器人的大多数磁化模式受限于固定模具或固有地耦合到材料制造工艺中，难以实现可重构和高通量的磁化调控，相关技术突破极具挑战。

该研究中，李亮教授团队首创基于脉冲强磁场聚焦的直接磁化技术，实现了磁性软体机器人内部磁化过程与磁性复合材料制备工艺过程的解耦，可完成软体机器人内部磁化路径快速可控编程及重构（毫米级分辨率），是目前唯一无需额外辅助措施（模具、组装或外加取向场等）实现小型软体机器人可编程磁化的方法。同时，李亮教授团队提出新的磁驱动策略，实现了多类功能型磁性软体机器人的多模态变形和运动，包括无约束抗拖拽软体机器人，移动速度超过 1 倍身长/秒的仿尺蠖软体机器人（已报道最快的磁性尺蠖软体机器人）以及在非结构环境中实现靶向运输的多臂滚动软体机器人。相关研究对于实现磁性软体机器人的批量生产，推动其在生物医疗和仿生等领域中的应用具有重要意义。



Cite: [J. Yu, et al. Nano Energy 87, 106169 \(2021\)](#)



5. 中科院强磁场科学中心

- 国际合作团队在拓扑磁性材料中实现 Dzyaloshinskii–Moriya 相互作用的电调控
- 强磁场科学中心在基于磁场调控磁铁矿纳米团簇的协同治疗研究中取得新进展
- 迁徙鸟类对地磁场感知的量子生物学机制研究取得重要进展
- SHMFF 用户发现钙钛矿纳米晶在室温下光致发光的磁场效应
- 林文楚课题组在小细胞肺癌放化疗耐药机制研究中取得新进展
- 强磁场科学中心解析出不同类型磁性拓扑半金属的磁结构
- 强磁场科学中心发现拓扑笼目半金属中高压诱导的双 dome 型非常规超导态
- 强磁场科学中心在锰氧化物 CE 相的形成与表面相分离研究中取得重要进展
- 强磁场科学中心在层状材料 $\text{Cr}_2\text{Ge}_2\text{Te}_6$ 中发现大量新奇的磁畴结构
- 强磁场科学中心开发出光遗传学新型光控元件蛋白 cpLOV2
- “SHMFF 去离子水冷却系统维修改造”项目通过验收
- 国家重点研发计划“大推力、增强型别费尔德—布朗效应离子发动机”项目启动暨实施方案论证会召开
- 稳态强磁场装置研制团队获“全国工人先锋号”称号

详见：http://www.hmfl.ac.cn/xwzx_2021/jqyw/