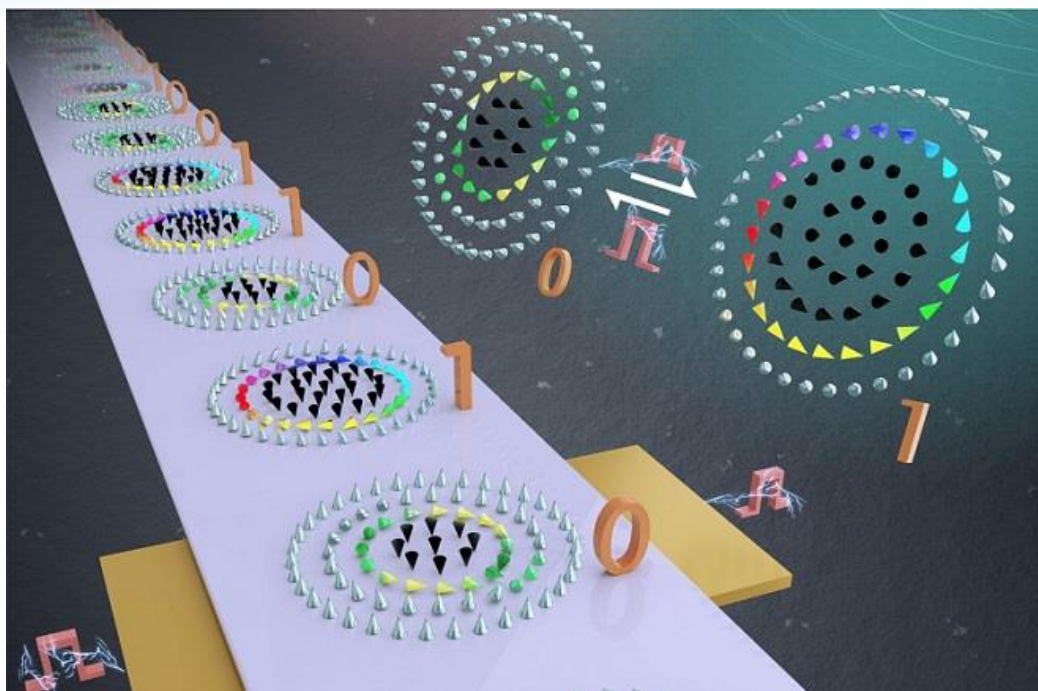


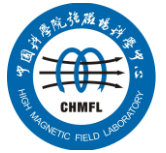
国内外强磁场实验室 科研动态

2021 年第三季度



中国科学院强磁场科学中心

2021/10/11



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

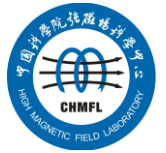
日本的强磁场实验室没有整合在一起。比较著名的实验室有东京大学的 MegaGauss 实验室，东北大学的超导材料高场实验室 (HFLSM) 和 NIMS 的筑波磁体实验室 (TML)。

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

● NSF 资助 40T 超导磁体研究

NSF 于 9 月启动“中型科研基础设施项目”第一期，共资助十项，总额 1.27 亿美元。MagLab 实验室获其中 1580 万美元资助，用于探索 40T 超导磁体的实现路径。其它获资助项目有互联网安全基础设施、海底地震仪、下一代雷达等。

MagLab 准备了两套方案，均采用 REBCO 高温超导材料。第一种将多条 REBCO 带材叠在一起，另一种则在超导材料上加一层绝缘层。该项目的目标是确定 40T 超导磁体的所有技术细节，包括造价以及建设时间表。

● Laura Greene 出任总统科技顾问委员会

拜登总统 9 月任命 MagLab 首席科学家 Laura Greene 为总统科技顾问委员会 (PCAST) 委员。该委员会由 30 名委员构成，为总统提供科技创新方面的政策建议。

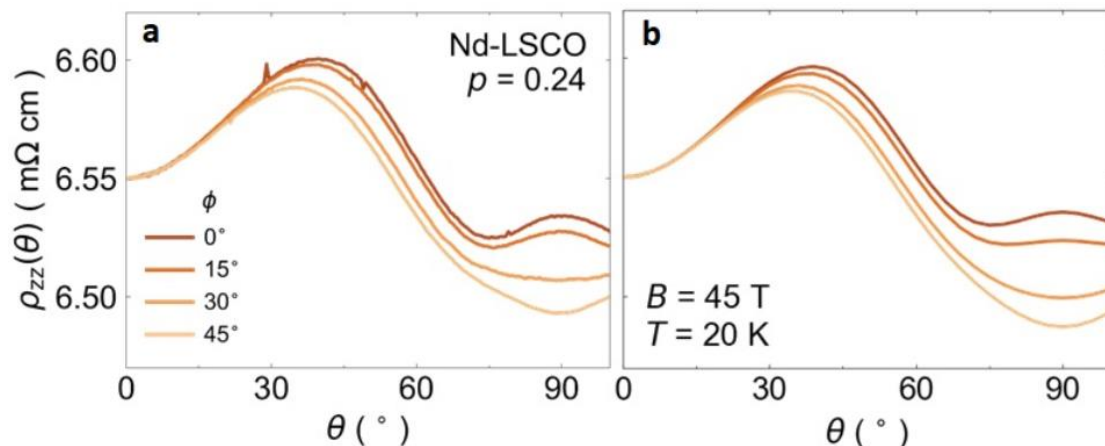
此外 Laura Greene 还担任 APS 主席、AAAS 董事会成员、国家科学院 (NAS) 院士、美国艺术与科学学院院士等社会职务。她还获得了 E.O. Lawrence 材料研究奖、APS Maria Goeppert-Mayer 奖、Bellcore 卓越奖等多种奖项。

● 来自各向同性普朗克散射率的线性温度电阻率

最近，科学家们提出了一个新的自然基本极限——普朗克边界——它限制了电子相互碰撞的频率。

为此，MagLab 用户将 Nd-LSCO 样品置于 45T 磁体中测量角度相关磁阻 (ADMR)。带电电子的运动受磁场控制，其方式取决于电子之间的碰撞时间。使用 ADMR 和他们开发的新算法机制，他们不仅测量了普朗克边界，而且证明了它对电子运动各个方向的影响。

奇异金属、非常规超导性和磁性之间的密切联系表明，普朗克边界可能最终掌握着非常规超导体中电子如何配对的秘密。

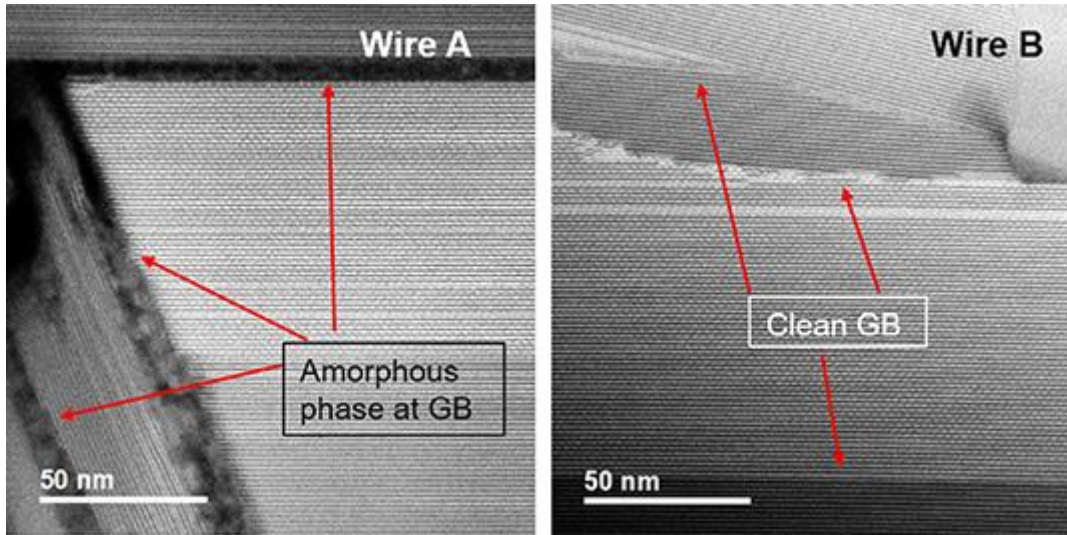


Cite: [G. Grissonnanche, et al. Nature 595, 667–672 \(2021\)](#)

装置：混合磁体

● 先进显微技术用于 Bi-2212 圆线纳米结构研究

MagLab 借助 SEM、TEM 等先进显微技术来厘清热处理参数与超导性能之间的关系。其结果表明，新的前驱体粉末与高度优化的加工参数相结合，在晶界清洁度和高 a 轴晶粒排列的发展中起着至关重要的作用，这两者都是影响超导临界电流密度的必要条件。

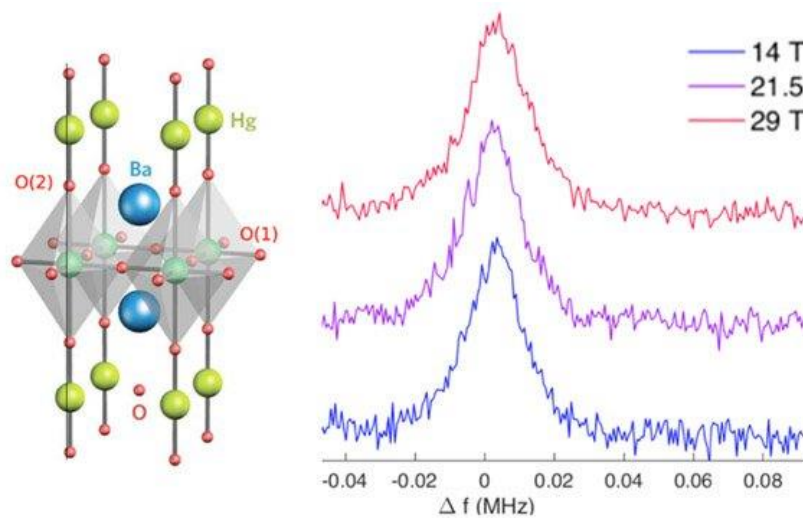


Cite: *T.A. Oloye et al. Supercond. Sci. Technol. 34, 035018 (2021)*

● 32T 超导磁体的首次自旋相干测量

MagLab 用户展示了 32T 超导磁体中的 首次 NMR 自旋相干实验。

该应用涉及 $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+d}$ 超导体单晶中的 ^{17}O NMR。通过多脉冲实验记录了自旋相干时间 T_2 ，发现该体系中磁通量涡旋中的自旋动力学，这很可能与涡旋核中的电子束缚态有关。



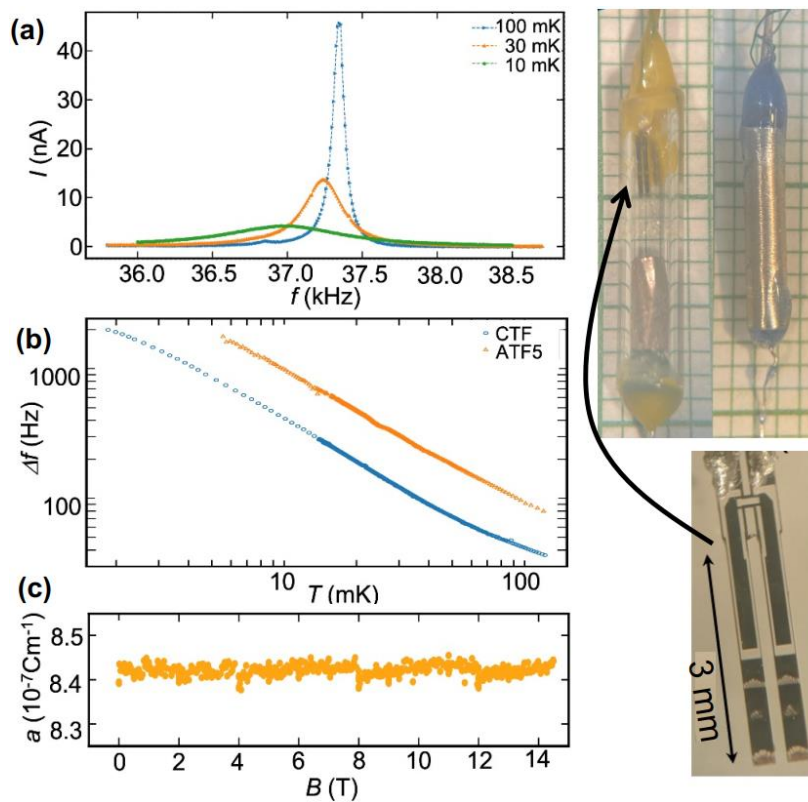
装置：32T 超导磁体（NMR）

● 用于亚毫开温度的新型强磁场温度计

在室温下看起来简单的温度测量在绝对零附近变得非常困难。如果被测物体是同样受到强磁场影响的小型晶体或微型器件，则确定热容或热导率所需的温度测量选项非常有限。MagLab 的科学家报告了基于 ^3He 液体中的石英音叉开发的新温度计，这将有助于实现这些需求量很大的用户实验。

测量原理依赖于液体 ^3He 的温度相关粘度，这会导致洛伦兹振动共振曲线的温度相关展宽。尽管是在液体中进行测量，但音叉温度计是实现小型固体晶体微型热探针的最有希望的候选者之一，因为它们可适用于微观尺寸并兼容强磁场和超低温。

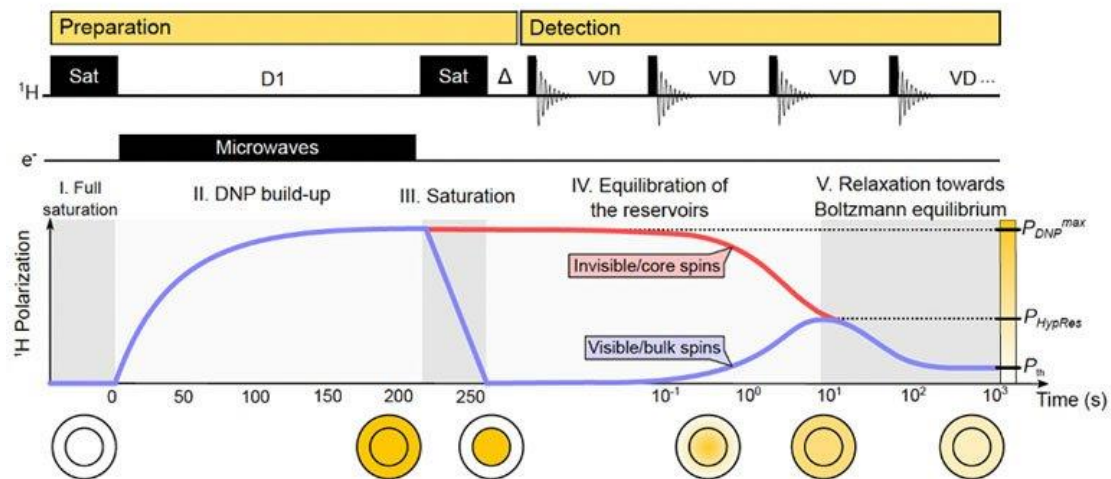
新开发的温度计将使用户能够研究这些极端条件下的超导体、量子临界行为、量子自旋液态和拓扑材料等。



Cite: [A. J. Woods, et al. arxiv](#)

● 一种理解动态核极化的新方法

MagLab 用户开发了一种称为超极化回潮 (HypRes) 的新方法来研究核自旋如何在不成对电子自旋存在的情况下“交流”。这是一项名为动态核极化 (DNP) 的革命性技术的关键进步，该技术用于在核磁共振 (NMR) 和磁共振成像 (MRI) 实验中提供巨大的信号增强。



Cite: [Q. Stern, et al. Science Adv. 7 \(2021\)](#)

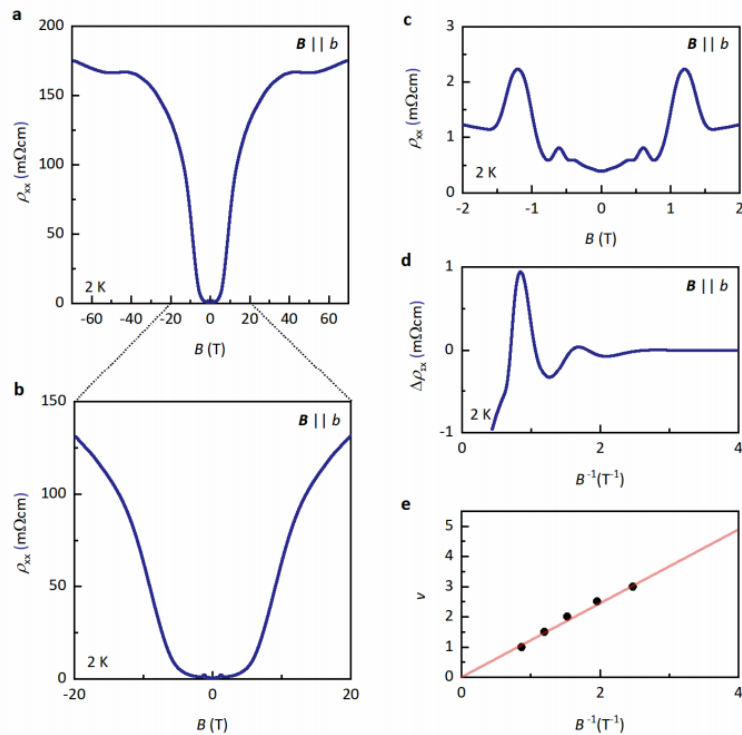
装置：超导磁体 (NMR)

2. 欧洲强磁场实验室

● ZrTe₅ 中准量子霍尔效应的来源

量子霍尔效应 (QHE) 传统上被认为是一种纯二维现象。然而，最近在狄拉克半金属 ZrTe₅ 中报道了 QHE 的三维形式。来自德国、美国和瑞典的研究人员借助强磁场成功确定霍尔效应准量子化 (qQHE) 背后的机制。实验数据与

计算的比较表明，该体系中霍尔效应的准量子化源于低载流子密度和载流子狄拉克特性的相互作用。



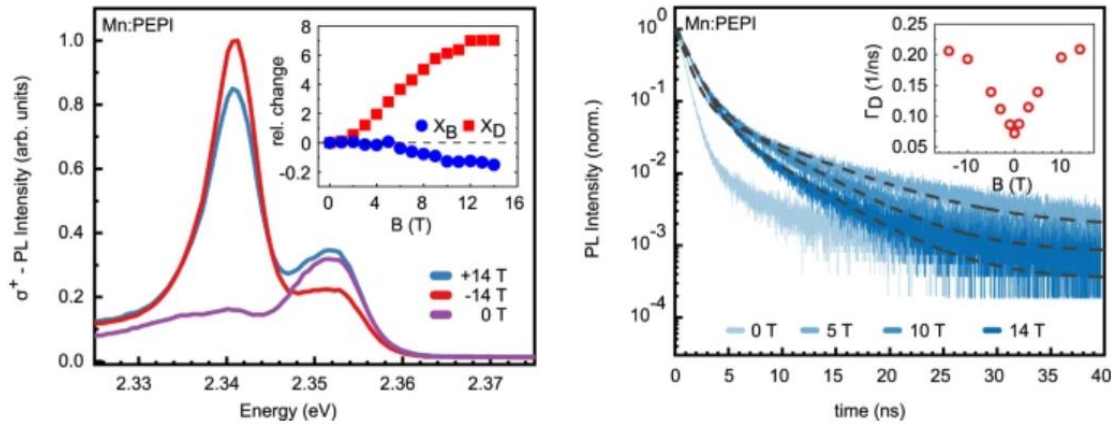
Cite: [S. Galeski, et al. Nat. Commun. 12, 3197 \(2021\)](#)

装置：脉冲磁体

● 层状杂化金属卤化物钙钛矿中增强的光自旋电子功能

图卢兹脉冲强磁场实验室用户报告了将锰掺杂成功引入层状钙钛矿 $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$ 的晶格中，从而诱导出抗磁性母体材料的顺磁性。扫描磁场时测得的磁化强度不显示磁滞行为，并且遵循非相互作用 $J=5/2$ 自旋系统的布里渊函数，对应于磁场中高自旋 Mn d5 构型的自旋排列。磁场中的光致发光 (PL) 测量表明，出现了位于明亮激子峰低能侧的新信号。这种发射被归因于强磁场下通过与亮激子的磁耦合而变亮的暗态。与非磁性变体相比，这种发射显示出非零度的圆极化，其值达到 13%，且与材料的磁化强度成正比。

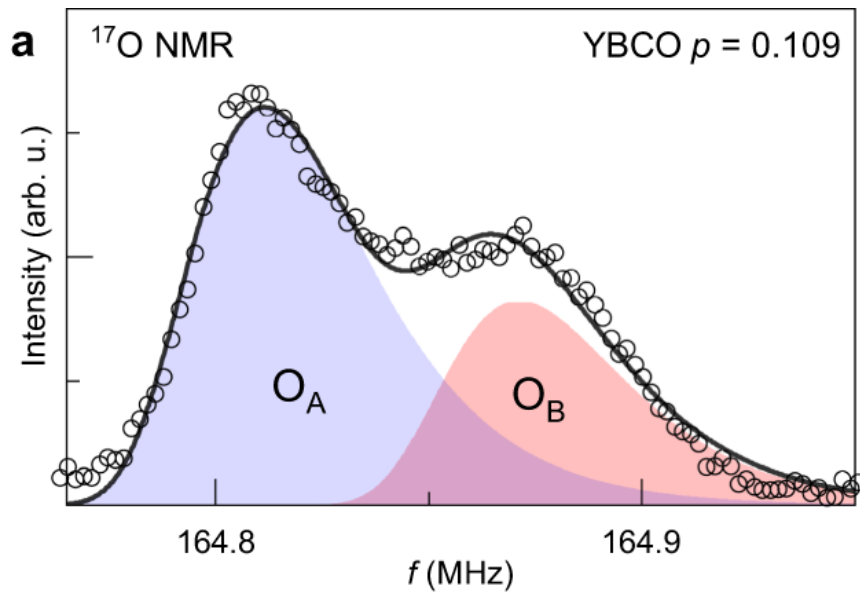
这些发现首次证明了过渡金属掺杂的卤化铅钙钛矿中激子自旋物理的磁化控制，并为这些材料的未来光自旋电子功能迈出了第一步。



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

装置：脉冲磁体，水冷磁体

● YBCO 中具有三个单胞周期的局部相称电荷密度波



在这项工作中，法国强磁场实验室使用 ^{17}O 高场核磁共振 (NMR) 来研究 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 在超导状态下施加磁场时观察到的电荷密度波 (CDW)。先前的测量已经确定，该 CDW 在所有三个空间维度中都是长距离有序的，具有沿晶体学 b 轴的单个传播矢量 q 。虽然 X 射线散射测量发现 q 是不相称的，但这次的

实验结果表明 CDW 实际上在局部尺度上是相称的，而且发现其具有三个晶胞的实空间周期性。

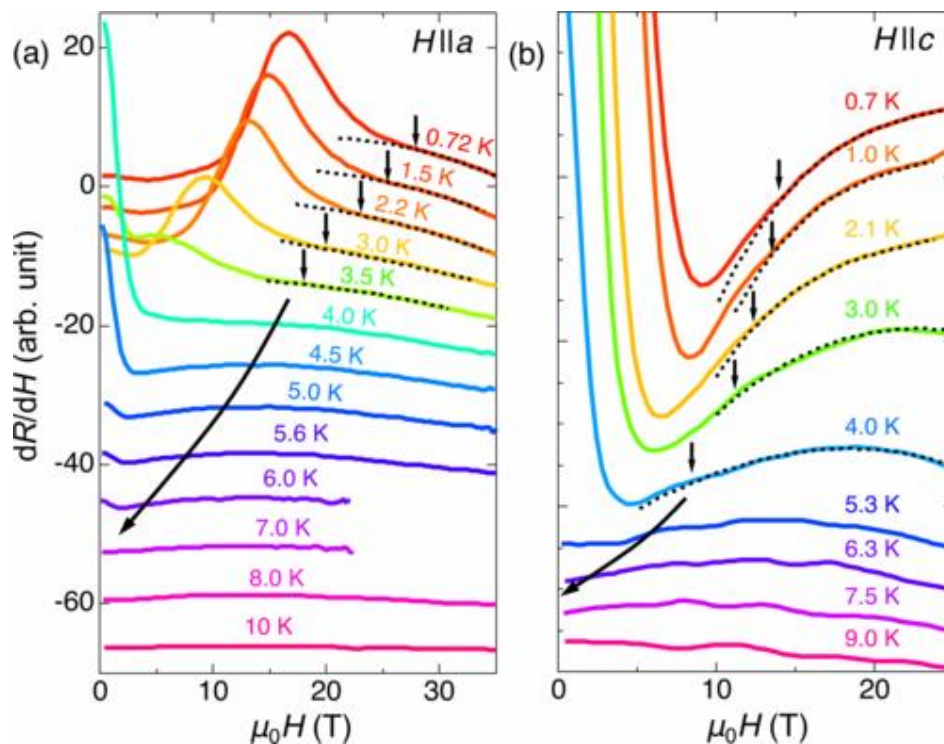
Cite: I. Vinograd, et al. Nat. Commun. 12, 3274 (2021)

装置：水冷磁体

3. 日本强磁场实验室

- 量子自旋液体中出现的非凡 π 电子超导性

自旋高度纠缠的量子自旋液体 (QSL) 被认为是产生奇异超导性的基础。尽管进行了大量努力，但由于难以用金属导电性稳定 QSL 状态，因此 QSL 产生的超导性尚未在实际材料中实现。最近，一种有机化合物 κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.89}Br₈ 具有分子二聚体的几乎规则的三角形晶格，被认为是掺杂 QSL 的候选者。



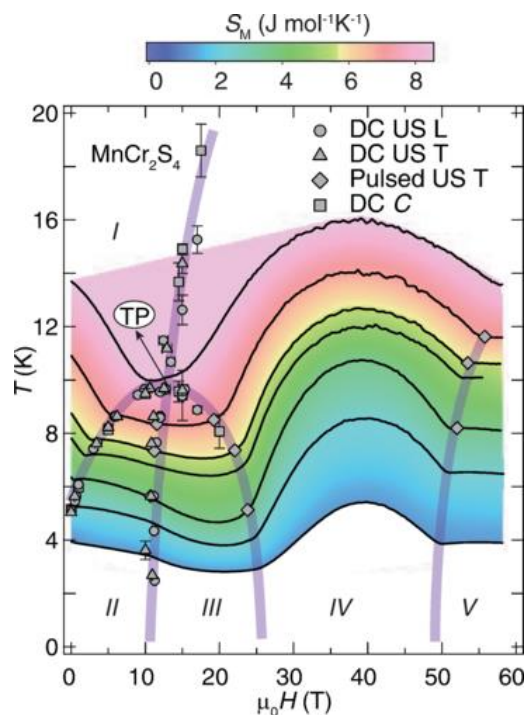
实验中观察到，无论磁场平行或垂直于二维导电层， H_{c2}/T_c 之比都出乎意料的大。此外 T_c 以上有一个非常宽的超导涨落区。这些特性源于掺杂 QSL 状态特有的强电子相关性和可能的量子临界性，导致大的巡游载流子质量和大的超导能隙。

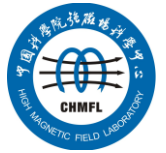
Cite: [S. Imajo, et al. Phys. Rev. Research 3, 033026 \(2021\)](#)

装置：脉冲磁体

● $MnCr_2S_4$ 中元素特定的场诱导自旋重定向和四临界点

亚铁磁尖晶石 $MnCr_2S_4$ 由于键阻挫和强自旋晶格耦合而表现出多种磁场诱导的相变。然而，在强磁场中各相的位点分辨磁特性仍然难以捉摸。研究人员利用 40T 下的软 X 射线磁圆二色谱直接证明了场诱导相中的元素选择性磁矩重定向。从磁热效应测量得到的熵变进一步支持了其复杂的磁结构。此外，热力学实验表明，由于强自旋-晶格耦合， $MnCr_2S_4$ 的 H-T 相图中有一个不寻常的四临界点。





Cite: [*Sh. Yamamoto, et al. Phys. Rev. B 103, L020408 \(2021\)*](#)

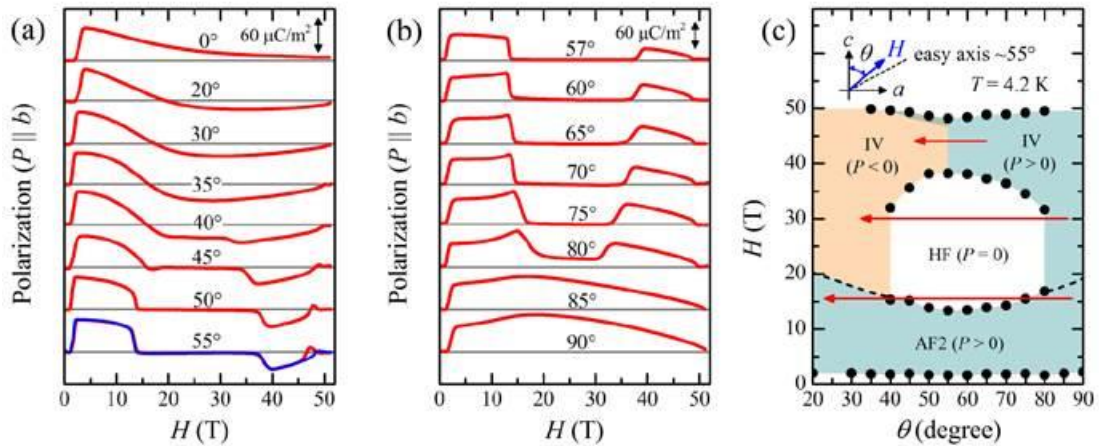
装置：脉冲磁体

4. 武汉脉冲强磁场科学中心

● 多铁性材料的强磁场磁电调控研究

磁电之间的相互调控是多铁性物理中的一个核心问题。自从在正交锰氧化物中发现超大磁电效应以来，磁控制电或电控制磁一直受到多铁研究领域的广泛关注。在磁控制电方面有两种比较新颖的效应：一种是电极化方向的 90 度翻转，另一种是电极化 180 度反转。例如， BiMn_2O_5 在 20T 强磁场下会发生电极化反转，理论揭示这是一种多铁量子临界现象[Nature Mater. 18, 223 (2019)]； $\text{Co}_2\text{V}_2\text{O}_7$ 在强磁场下会发生电极化翻转，可能和自旋波色-爱因斯坦凝聚现象有关[Phys. Rev. B 100, 140403(R) (2019)]。

MnWO_4 是一种重要的单相多铁性材料，在磁场作用下表现出丰富的相变和磁电效应。例如，当磁场沿 b 轴时，发生从 b 到 c 方向的电极化翻转；当磁场沿磁易轴（ 55° ）时，在 40T 发生电极化反转。这种高场极性反转的物理图像一直不清楚。此次利用 52T 脉冲强磁场和转角测量技术，在 MnWO_4 单晶中观察到一种新的角度依赖的电极化反转现象：当磁场在磁易轴附近偏转时，高场电极化会发生突然反转。研究表明，这种新奇的磁电效应来源于磁场调控的螺旋自旋结构的手性方向改变。该研究不仅给出了磁易轴方向高场电极化反转的物理图像，也预示高阶磁电耦合项在描述强磁场多铁效应时具有重要作用。



Cite: [J. F. Wang et al. Phys. Rev. B 104, 014415 \(2021\)](#)

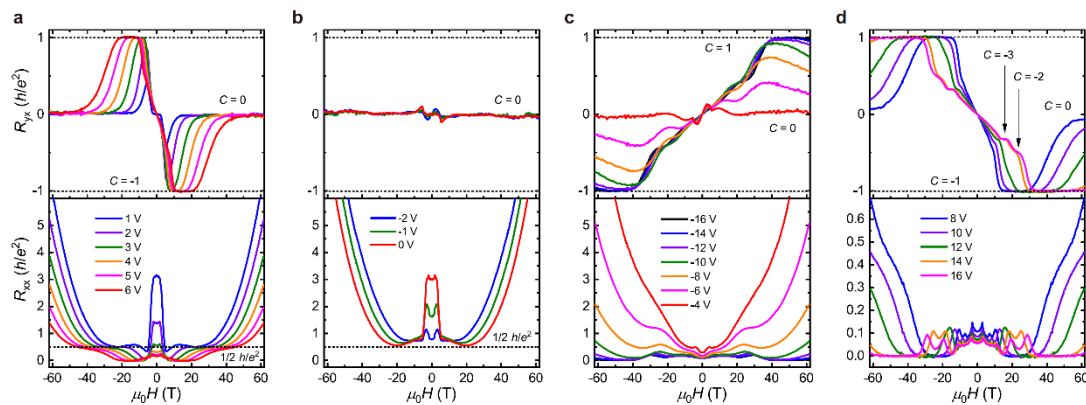
装置：脉冲磁体

● 超强磁场下陈绝缘体的拓扑相变

清华大学王亚愚教授团队借助脉冲强磁场下微纳器件的输运测量技术，在本征磁性拓扑绝缘体 MnBi_2Te_4 中发现了陈绝缘体在高达 61 特斯拉的超强磁场下存在一个以零级霍尔平台和螺旋式边缘态输运为典型特征的新拓扑物态。研究发现，当 MnBi_2Te_4 的费米能被栅极电压 (V_g) 调到带隙中间区域时，样品在外磁场的诱导下首先进入铁磁陈绝缘体态。而随着磁场的进一步增加 ($B > 15\text{T}$)，霍尔电阻被压制到一个非常宽的零级平台上。随着费米能被 V_g 调向价带，零级平台展示出了强大的稳定性，在某些 V_g 下零级平台的宽度可以达到 50T。随着费米能被调到价带和导带更深的位置， MnBi_2Te_4 在强磁场下展现出由于朗道能级造成的整数量子霍尔效应。然而与传统的量子霍尔效应不同，无论费米能位于导带、价带还是能隙中，霍尔电阻在强磁场下都会趋向于零级平台。

该团队提出了强磁场中朗道能级和塞曼效应 (Zeeman effect) 诱导的能带反转协同作用的图像，利用陈数符号相反的螺旋式边缘态来解释这种强磁场下零级霍尔平台的出现。能带理论计算表明， MnBi_2Te_4 在铁磁陈绝缘体态的能

带由一对拓扑平庸和一对拓扑非平庸的能带构成，这两者分别贡献了陈数 0 和-1。随着磁场的增加，导带和价带中电子的轨道运动形成朗道能级，因此当费米能位于价带顶附近时，原本陈数为-1 的能带和陈数为+1 的空穴型朗道能级共同贡献了一个零级平台。另一方面，由于自旋取向不同，更强磁场下的塞曼效应使得原本拓扑平庸的能带发生反转，同时原本价带中贡献+1 的朗道能级转移到导带，因此当费米能位于带隙中时，两套陈数相反的拓扑能带贡献了零级平台。同时，该团队研究了不同器件构型下的强磁场边缘态输运，测量到只有螺旋式边缘态才能贡献的量子化非定域电阻，验证了陈数符号相反的螺旋式边缘态的存在。



该项工作首次发现陈绝缘体在强磁场作用下演化到一个具有螺旋式边缘态的新拓扑量子态，对于研究磁有序与拓扑的相互作用，以及在极端条件下创造新奇拓扑量子物态具有重要价值。该研究中，脉冲强磁场设施为研究陈绝缘体在强磁场下的演化以及探索极端条件下的新奇拓扑量子物态提供了强有力的平台支撑，基于脉冲强磁场下微纳器件的输运测量技术，采用微安级别直流测试方案，克服了微纳器件样品在脉冲强磁场复杂条件下的不稳定性，历时数月对多个不同样品进行了系统细致地栅极调控以及强磁场下不同构型的输运测量。

Cite: C. Liu et al. Nature Commun. 12, 4647 (2021)

装置：脉冲磁体

● Kagome 晶格 KV_3Sb_5 的手性电荷序研究

徐刚课题组通过第一性原理计算和分析，揭示了 KV_3Sb_5 的低能态来自于 V-3d 轨道，并进一步确定了 2×2 重构后的晶格结构。他们发现，在新的 2×2 电荷密度波相中 V 将形成所示的三聚体和六聚体。这种重构将使费米能级处的狄拉克点打开能隙，并导致非零的贝里曲率。这些计算结果较好地解释了 KV_3Sb_5 在费米能级处的态密度压制和输运上的反常霍尔效应。

该研究表明，非常规手性电荷序可能是关联效应与拓扑序共同作用的结果，可以作为时间反演对称性破缺或具有有限角动量的奇异库珀对的前驱。 KV_3Sb_5 为人们研究关联效应与拓扑序相互作用及其衍生现象提供了一个有趣的材料平台。

Cite: Y. X. Jiang, et al. Nature Mater. 20, 1353–1357 (2021)

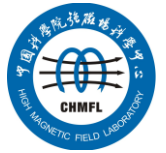
● 多极矩物态的高效预测方法及其在 RuX_3 ($X=Cl, I$) 中的应用

该研究中，徐刚及其合作者利用基于无规相近似的线性响应理论，发展了一套从第一性原理计算出发快速高效地预测多极矩序参量的方法，并将其应用到单层蜂窝状结构的 RuX_3 ($X=Cl, I$) 体系。在 $RuCl_3$ 中找到两种纯八极矩亚稳态 Oc-II (FM- O_{21}^{36}) 和 Oc-IV (AFM- O_{21}^{36})。随后，探讨了八极矩的形成条件，并通过计算发现反向排列的八极矩态 AFM- O_{21}^{36} 在 RuI_3 中会成为基态。最后，研究了 Oc-II 和 Oc-IV 相关的奇异物理性质，包括：(1) 这种磁八极矩序参量打破时间反演对称性，但不表现出任何宏观磁性；(2) 在同向排列的 Oc-II 态中施加 xz 平面的旋转磁场，可以在 y 方向诱导出如图 2(e) 所示的交变振荡的正交磁矩



M_y ——实验上可以据此验证 Oc-II 态的存在。该工作为快速有效地计算多极矩序参量提供了新方法，为寻找相关材料、研究多极矩奇异物性提供了新思路。此外，还可以在该方法的基础上引入磁场等外场的作用，进一步拓展对多极矩序参量及其相关物性的研究能力。

Cite: [W. X. Qiu, et al. Phys. Rev. Lett. 127, 147202 \(2021\)](#)



5. 中科院强磁场科学中心

- 强磁场科学中心在磁性拓扑绝缘体物性研究方面取得新进展
- 强磁场科学中心在差分相位衬度技术分析拓扑磁结构研究中取得新进展
- 林文楚课题组发现环形 RNA 具有抑制胃癌转移的新功能
- 强磁场科学中心实现可逆电流调控拓扑磁转变
- 拓扑磁结构家族再添新成员：强磁场中心发现多拓扑荷特性“磁束子”
- 强磁场科学中心大口径水冷磁体研制取得重要成果
- 强磁场中心盛志高研究团队在磁控化学反应研究中取得重大进展
- 强磁场科学中心新增一台高端科研利器
- 王俊峰课题组研发出高效皮肤组织修复纳米级硼酸盐生物活性玻璃
- 国家重点研发计划“稳态强磁场下材料制备与表征技术发展”顺利通过课题绩效评价
- 强磁场安徽省实验室召开 2021 年度第一次学术交流会
- 稳态强磁场实验装置举行“强磁场下实空间高分辨成像”用户交流会

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