

2026年4月1日-2026年4月11日

索引:

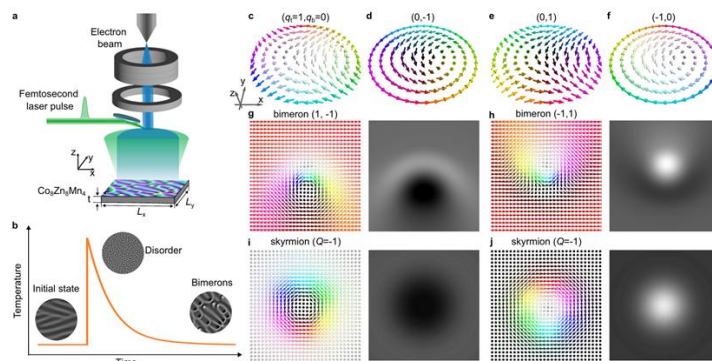
- 1、光诱导手性磁体中的双伴子
- 2、等离激元时间晶体薄膜中的近场增益与远场调控
- 3、空间反演 Kramers 简并
- 4、应变调控镍酸盐双层薄膜的结构改性
- 5、Kagome 金属 KV_3Sb_5 中的软声子电荷密度波形成
- 6、拓扑零模诱导的量子临界动力学

1、光诱导手性磁体中的双伴子

拓扑自旋织构在纳米尺度下仍具有优异稳定性，并能对电流等外界刺激快速响应，因此在赛道内存和量子信息器件中具有重要应用前景。二维典型拓扑磁孤子包括斯格明子和伴子：前者多存在于具有单轴各向异性的磁体系，后者则常见于易平面各向异性体系。传统拓扑电荷定义对边界条件要求严格，且存在坐标系依赖问题，近期发展出的新拓扑不变量理论为伴子/斯格明子体系提供了更普适描述。双伴子作为成对束缚的伴子结构，兼具粒子性与可操控性，在自旋电子学中潜力突出。实现其可控产生尤为关键，而飞秒激光因具备超快、灵活调控磁结构的能力，被认为是诱导双伴子的重要手段。

近日，中科院物理所李建奇研究员、彼得·格伦伯格研究所 Nikolai S. Kiselev、广西大学李子安教授团队，通过实验表明，在 $Co_8Zn_8Mn_4$ 薄片中，可以利用激光脉冲高效地产生两种不同类型的双伴子；该材料是一种在室温下稳定的、具有各向同性（体相）DMI 的手性磁体。作者进一步发现，较弱的外加磁场就能够显著改变这两类双伴子之间的能量平衡，从而使其中一种双伴子更占优势。作者系统研究了不同条件下激光产生的双伴子团簇，证明其密度能够通过外加面外磁场的强度实现有效调控，同时验证了双伴子的拓扑分类在不同厚度的薄片保持不变。此外，我们还展示了双伴子在磁场中的结构演化，这一过程由外加磁场与形状各向异性之间的竞争所驱动。总体而言，这些结果确立了在面内磁化薄膜中通过光学方式写入拓扑自旋织构的可行性，并为面向自旋电子学应用的新型拓扑态设计与调控奠定了基础。

相关工作发表在《Nature Communications》上。（刘帅）



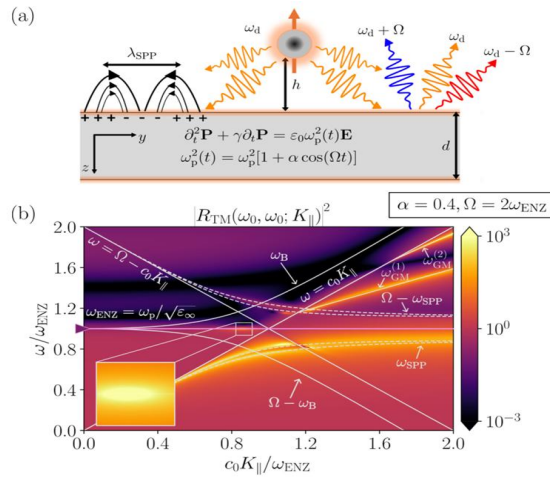
文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-71291-5>

2、等离子激元时间晶体薄膜中的近场增益与远场调控

在经典与量子光学框架中,光与物质的相互作用长期受限于能量守恒与被动性约束,发射体通常表现为能量的辐射源,其辐射行为主要由局域环境中的模密度与耗散机制所决定。近年来,时间调制介质的发展打破了这一传统图景,周期性随时间变化的介电参数使系统进入所谓“光子时间晶体”范畴,从而引入频率非守恒与参量放大等新效应。尽管已有研究揭示了时间调制可显著改变电磁波传播与放大特性,但多数工作基于理想化的无限均匀体系,忽略了实际材料中不可避免的色散效应与有限结构约束。尤其在等离子激元体系中,材料色散与空间几何对模结构具有决定性影响,因此在真实结构中系统性地探究时间调制、空间限制与色散之间的耦合作用,成为理解并调控光-物质相互作用的关键科学问题。

近日,西班牙马德里自治大学的 Paloma A. Huidobro 研究员和 Jaime E. Sustaeta-Osuna 研究团队,围绕置于时间调制等离子激元薄膜附近的电偶极辐射问题,构建了包含材料色散与空间有限性的理论模型,揭示了时间调制在近场与远场中引发的两类本质不同的物理机制。在近场区域,时间调制引入有效增益通道,使原本由于表面等离子激元引起的非辐射淬灭转化为能量反向流动,即发射体由辐射源转变为能量吸收体,其本质来源于负频率等离子激元模的耦合与放大。与此同时,在远场区域,系统中由布儒斯特条件及其负频率复制相互作用所诱导的泄漏共振,导致辐射功率随距离产生大幅振荡,且该效应可延伸至远超传统尺度的范围,实现对远场辐射的增强或抑制调控。上述结果表明,通过协同利用时间调制、材料色散与结构约束,可以在统一框架下实现对近场能量交换与远场辐射行为的精细操控。这不仅为突破传统被动纳米光子学限制提供了新路径,也为设计具有主动调控能力的光学器件与实现新型能量管理机制奠定了理论基础。

该研究发表于《Physical Review Letters》。(刘梦洋)



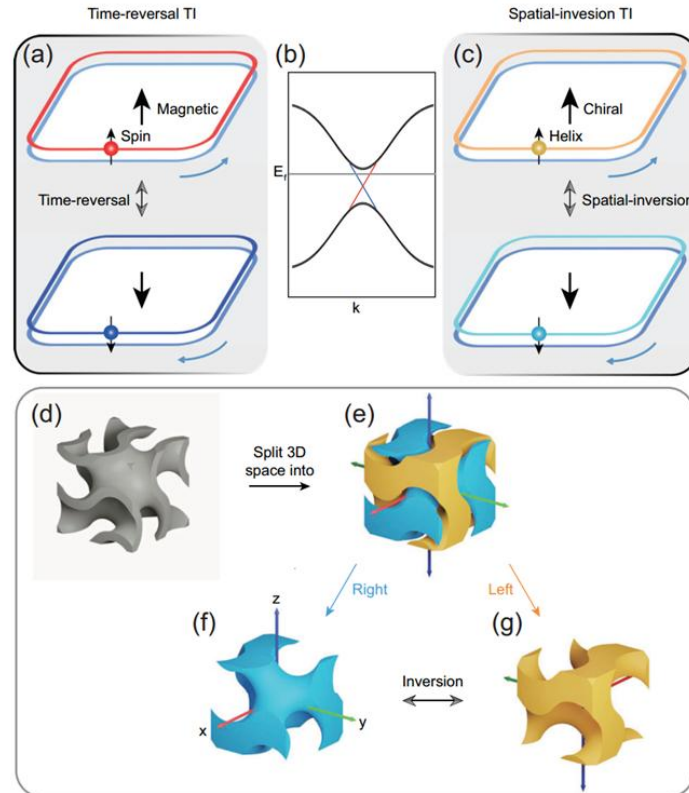
文章链接：<https://doi.org/10.1103/lfr1-dwlv>

3、空间反演 Kramers 简并

在拓扑物理中，Kramers 简并是时间反演对称性保护下费米子体系的关键特征，它保证了自旋 1/2 系统在时间反演不变点处的能带双重简并。然而，这一机制本质上依赖于电子的自旋自由度，因此无法直接推广到光子、声子、弹性波等无自旋的经典波系统。尽管拓扑绝缘体在电子体系中已取得巨大成功，但在经典体系中实现类似的全局简并一直是一个长期存在的挑战。近年来，研究者尝试通过电磁对偶、人工自旋等方式在经典体系中构造简并，但这些途径往往对材料参数有苛刻要求，如需要同时具备磁电耦合或特殊的各向异性响应，实验实现极为困难。如何在缺乏自旋的经典波系统中获得受对称性保护的全局双重简并，成为拓扑物理领域一个亟待解决的重要问题。

近日，湖南大学的郭清华教授和国防科技大学的杨镭研究员联合研究团队提出并实现了空间反演 Kramers 简并的概念，其核心在于利用 Gyroid 极小曲面将三维空间分割为两个互为镜像的手性子空间。每个子空间自身缺乏反演对称性，但整体组合后恢复空间反演对称性。在 PT 对称性保护下，整个布里渊区内的能带呈现全局双重简并，这与时间反演 Kramers 简并在数学上具有相同的形式。通过构建紧束缚模型和微波近场扫描实验，该研究在金属镀层 Gyroid 光子晶体中观测到了来自两个手性子空间的拓扑表面态和费米弧，理论与实验高度吻合。当两个子空间之间存在耦合时，滑移镜面对称性仍然保护无间隙的螺旋表面态。此外，该研究还在非零频率下复现了真空中麦克斯韦方程组的六重简并零频解，并通过反射本征相位刻画了其螺旋拓扑特征。这一工作为无自旋经典系统中的拓扑简并提供了普适的实现路径，拓展了非阿贝尔拓扑物理的应用边界，在几何与拓扑物理交叉领域具有重要的启示意义。

该文发表于《Physical Review Letters》。（刘梦洋）



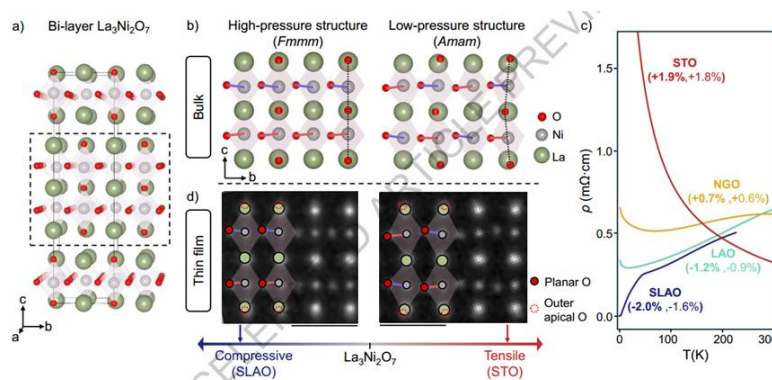
文章链接: <https://doi.org/10.1103/mqwn-hv7s>

4、应变调控镍酸盐双层薄膜的结构改性

近年来,镍酸盐超导体成为凝聚态物理领域的研究热点。尤其是双层镍酸盐 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$, 在高压下被报道具有较高超导转变温度后, 围绕“超导究竟由什么结构因素触发”的问题引发了广泛关注。与铜氧化物不同, 这类材料的电子结构与晶格结构强烈耦合, Ni-O 键长、键角以及八面体畸变都可能影响超导的形成。但在真正高压条件下, 实验上很难直接分辨这些原子尺度的结构变化, 因此, 利用外延薄膜中的应变来模拟高压效应, 成为理解其超导机制的重要路径。该研究正是瞄准这一关键问题, 通过对不同应变条件下 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ 双层薄膜进行原子级结构表征, 试图找出与超导最相关的结构共同特征。研究表明, 超导态不仅与晶格压缩有关, 更与压缩应变诱导的晶体对称性提升和镍氧八面体重构密切相关。

近日, 美国康奈尔大学和马普所的 Lopa Bhatt 和 Berit H. Goodge 助理教授, 围绕不同衬底引入的双轴应变, 制备并比较了 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ 薄膜样品, 借助扫描透射电镜和多重切片电子叠层成像技术 (multislice electron ptychography, MEP), 首次在皮米级精度下同时解析出阳离子与氧子晶格, 直接测量了镍氧八面体的键角、键长和晶格参数如何随应变改变。结果发现: 在压缩应变条件下, 薄膜中的 Ni-O 八面体畸变方式发生明显重构, 晶体对称性被提升, 而这种“高对称性”恰恰与超导薄膜所表现出的结构特征相一致; 与此同时, 研究人员还发现, 薄膜与高压块体虽然在面外 Ni-O 键长演化上并不相同, 但二者共享一个更本质的共同点——面内晶格压缩。基于精确的实验结构, 团队进一步建立理论分解框架, 把角度变化、键长变化和八面体转动等耦合畸变拆分开来分析,

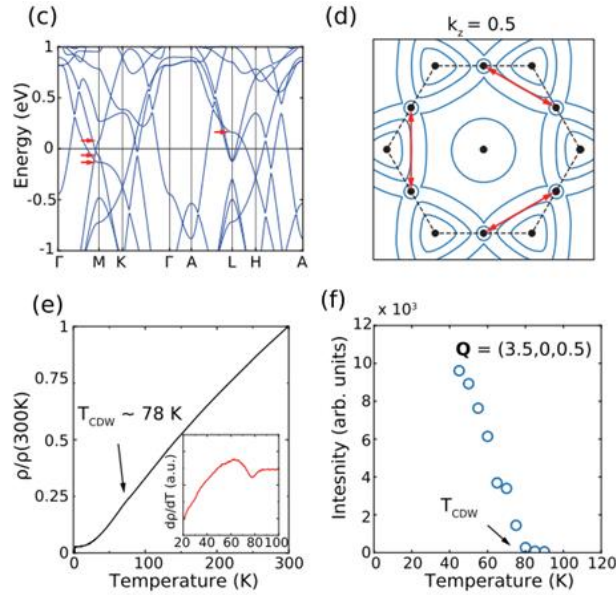
指出超导相关构型中的一个关键特征，是八面体对称性提高后低能 Ni 能带中的局域 t_{2g} 轨道混合被压制。该工作为理解镍酸盐超导的结构起源提供了直接证据，也凸显了高精度电镜在新型量子材料研究中的独特价值。相关内容发表于《Nature》上。（张琰炯）



文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10446-2>

5、Kagome 金属 KV_3Sb_5 中的软声子电荷密度波形成

近年来，笼目金属 AV_3Sb_5 ($A=\text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}$) 因同时呈现电荷密度波 (CDW)、超导电性以及反常霍尔效应、电子向列性等一系列新奇现象，成为凝聚态物理领域的热点体系。其中，一个关键科学问题始终悬而未决：这类材料中的 CDW 究竟由费米面嵌套等纯电子机制主导，还是由电子-声子耦合驱动？围绕这一问题，学界曾对 RbV_3Sb_5 和 CsV_3Sb_5 展开大量研究，但并未清楚观测到“软声子”塌缩到零能量的典型图像，使得其 CDW 形成机制长期存在争议。相比之下， KV_3Sb_5 具有二级相变特征，更适合作为揭示 CDW 本征形成过程的理想平台。近日，浙江大学曹超教授和宋宇研究员团队利用非弹性 X 射线散射实验，直接观测到 KV_3Sb_5 在约 78 K 的 CDW 转变附近出现软声子，并且该声子模随降温持续软化直至接近零能量，给出了非常清晰的 CDW 形成证据。更重要的是，团队发现这种软化在动量空间中呈现显著面内各向异性：沿不同晶向的软声子强度和分布范围明显不同。结合第一性原理计算，他们进一步证明，这种各向异性与动量依赖的电子-声子耦合高度一致，却与电子裸磁化率的分布趋势相反，从而有力支持了“电子-声子耦合而非费米面嵌套主导 KV_3Sb_5 的 CDW 形成”这一结论。相关内容发表于《Physical Review Letters》上。（张琰炯）



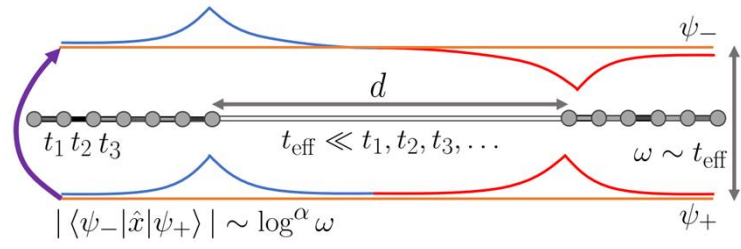
文章链接: <https://doi.org/10.1103/lhfz-7tk1>

6、拓扑零模诱导的量子临界动力学

无序拓扑绝缘体中的输运行为与平凡绝缘体存在显著差异。例如，在低维体系中，部分电子态可能在无序背景下仍保持离域特征，量子霍尔平台跃迁便是其中最典型的例子之一。尽管这一现象已被研究多年，其微观机制仍未被完全厘清。相比之下，具有手征无序——即无序仅出现在跃迁项而非 onsite 在位能的 SSH 链，为理解此类问题提供了一个更简洁且可解析的理论平台。在该模型中，当奇、偶跃迁元的几何平均值相等时，零能处恰有一个态发生离域化。该模型及其同普适类体系中的量子临界行为已得到广泛研究，并在无序原子导线中实现实验观测。重整化群流方程通过解析求解，可获得态密度低能区分布及临界指数等精确结果。对于具有相同固定点特征的随机质量连续一维费米子模型，研究证实临界态下载流子的概率密度呈现对数级缓慢扩散特性。

近日，哥伦比亚大学 Raquel Queiroz 教授团队进一步揭示了这一模型中低频交流电导的微观来源。作者沿用了 Mott 和 Davis 提出的理论框架，指出在具有手征无序的 SSH 链中，真正主导交流电导率的并非普通局域态，而是一类由拓扑零模两两杂化形成的低能共振态。更具体地说，无序诱导出的拓扑畴壁零模会成对耦合，形成成键态与反键态；在低频外场驱动下，这两类态之间的偶极跃迁成为交流响应的主要来源。作者证明，这些态对应的偶极算符矩阵元在小频率极限下会反常增大：偏离临界点时，其跃迁振幅随 $\log \omega$ 标度变化；而在临界点处，由于零模波函数的空间衰减由通常的指数形式转变为拉伸指数形式，跃迁振幅进一步增强为 $\log 2 \omega$ 。这一机制最终导致交流电导在临界点附近表现出异常标度：临界点处满足 $\sigma(\omega) \sim \log(\Omega/\omega)$ ，偏离临界点时则满足 $\sigma(\omega) \sim \omega^{2|\delta|} \log 2 \omega$ 。这一结果清楚表明，拓扑零模的杂化不仅决定了低能激发的结构，也深刻塑造了体系的量子临界动力学。

相关内容发表于《PHYSICAL REVIEW LETTERS》上。（金梦成）



文章链接: <https://doi.org/10.1103/z8v9-f8j2>
 (来源: 两江科技评论)