



中国人民大学中子散射重点实验室

一、实验室简介

“中国人民大学中子散射重点实验室”于2020年12月获批成立，依托于中国人民大学物理学系。重点实验室负责中国人民大学物理系冷中子三轴极化谱仪“行知”和冷中子广谱谱仪“博雅”的运行和管理，两台谱仪依托国家重大科研仪器设备研制专项1.11亿经费研制完成，组成的低能中子散射研究平台填补多项国际国内空白。

1. 历史沿革

2012年，中国人民大学物理学系教授鲍威主持的国家重大科研仪器设备研制专项“冷中子非弹性谱仪的研制”获批立项（项目批准号：11227906），资助额度为1.11亿元，是目前为止国家自然科学基金委对高等学校资助单项经费最高的项目。

2019年，国家重大科研仪器设备研制专项“冷中子非弹性谱仪的研制”顺利通过国家自然科学基金委组织的各项验收，项目研制成功的冷中子三轴极化谱仪“行知”和冷中子广谱谱仪“博雅”均达到国际先进水平。

2020年12月，为进一步规范中子谱仪的运行和管理，凝聚一支中子散射领域的创新人才队伍，孵化省部级乃至国家级重点实验室，中国人民大学中子散射重点实验室获批成立。

2. 实验室主任

实验室主任：卢仲毅教授。至今，共发表了高水平国际期刊文章100余篇，其中学校A+类期刊20篇，包括《NATURE》2篇，《NATURE COMMUNICATIONS》1篇，《PHYSICAL REVIEW LETTERS》17篇，《JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY》1篇，学校A类期刊70余篇，包括《APPLIED PHYSICS LETTERS》3篇，《PHYSICAL REVIEW B》40余篇等；相应的，SCI他引次数3300余次，其中有7篇文章他引次数超过100次，16篇文章他引次数超过50次，并有多个国际会议邀请报告，关于非晶SiO₂氧空位缺陷的研究成果获得2002年国际电子电气工程师协会年会论文奖(2002 IEEE MERITORIOUS

CONFERENCE PAPER AWARDS)。2019年作为第一完成人获得国家自然科学奖二等奖（成果“铁基超导体的电子结构和磁性质的理论研究”）。2017年获中国人民大学吴玉章优秀科研奖；获2015年度教育部自然科学一等奖（第一完成人），获2015年度中国物理学会叶企孙凝聚态物理奖，入选2012年度教育部长江学者奖励计划特聘教授，2010年荣获香港大学 Daniel Tusi Fellowship，2009年获国家人事部等七部委新世纪百千万人才工程入选者，享受国务院政府津贴，2007年获国家自然科学基金委杰出青年基金。

3. 建设目标

中子散射是探测物质结构和动力学性质不可取代的重要实验手段，从国际知名中子中心的发展历史上看，大型科学平台的建立将带动物理、材料、化学等学科前沿领域产出重大科研成果的机会，并吸引世界范围内的用户开展合作研究和学术交流。归属于高等学校的大型先进中子散射科学平台在国内乃至世界范围内都极为少见，为了更好地管理利用好两台中子谱仪，特成立“中国人民大学中子散射重点实验室”，旨在达到以下几个方面的目的：

(1) 参照国际经验，成立重点实验室有助于实现中子谱仪的规范化管理。国际上建设完成的中子散射谱仪都是由相关单位成立中子中心（或实验室、研究所）来进行管理。中心设有负责谱仪运行并利用谱仪开展科学研究的谱仪科学家队伍以及维护升级谱仪的工程师队伍；并设有学术委员会，用于接收审查世界各地研究组的实验申请。这已经成为国际惯例，成为世界各国中子谱仪稳定有序运行的保障。

(2) 成立重点实验室有助于协调科研资源，产出有国际影响力的科研成果。中子散射实验的开展除了实验过程本身以外还需要高质量测试样品准备、晶体定向、样品环境运转维护等诸多重要的辅助实验步骤，以及实验结合理论的数据分析过程等，因此需要组建实验室和实验团队来协同开展中子散射领域的科研工作。这是谱仪能够不断产出有国际影响力的科研成果的重要保障。

(3) 凝聚一支中子散射领域的创新人才队伍，孵化省部级乃至国家级重点实验室。组建重点实验室有助于稳定我校中子散射方向的人才队伍并吸引相关领域的优秀人才逐步加入，从而推进中子散射方向以及关联的凝聚态物理学科的学科建设，构成孵化省部级乃至国家级重点实验室的基础。



4. 环境及设备

在中子散射实验方面，重点实验室拥有冷中子三轴极化谱仪“行知”和冷中子广谱谱仪“博雅”，并与中国工程物理研究院的绵阳堆以及德国 FRM2 研究堆、美国橡树岭国家实验室等反应堆上的中子仪器有着良好的合作关系。在极端样品环境方面，实验室的“行知”和“博雅”谱仪配有最低温可到 300mK 的 He3 恒温器（美国 Janis）、最高磁场可到 12T 的中子散射分裂式强磁体（英国 Cryogenic）以及高压可到 2GPa 的高压包等极端样品环境。这些极端样品环境实验条件是目前国内其他中子源中子谱仪都不具备的，在国内处于遥遥领先的地位。此外实验室在中国人民大学物理系还管理劳厄 x 射线照相装置（可以用于中子散射实验的单晶样品定向），并设有中子谱仪部件加工、中子散射实验样品准备的实验室。

5. 成果概述

重点实验室自 2013 年起承担国家重大科研仪器设备研制专项“冷中子非弹性散射谱仪的研制”项目，完成了“行知”和“博雅”两台冷中子谱仪的研制，填补多项国际国内空白。在谱仪的研制过程中，实验室成员发表 10 篇 SCI 论文并产生了一系列与谱仪研制相关的专利成果：申请发明专利 6 项，其中 2 项发明专利得到授权，申请实用新型专利 6 项，其中 6 项实用新型专利得到授权。

二、代表性成果与案例

准二维笼目金属 CsV3Sb5 中非平庸电子结构的量子输运研究

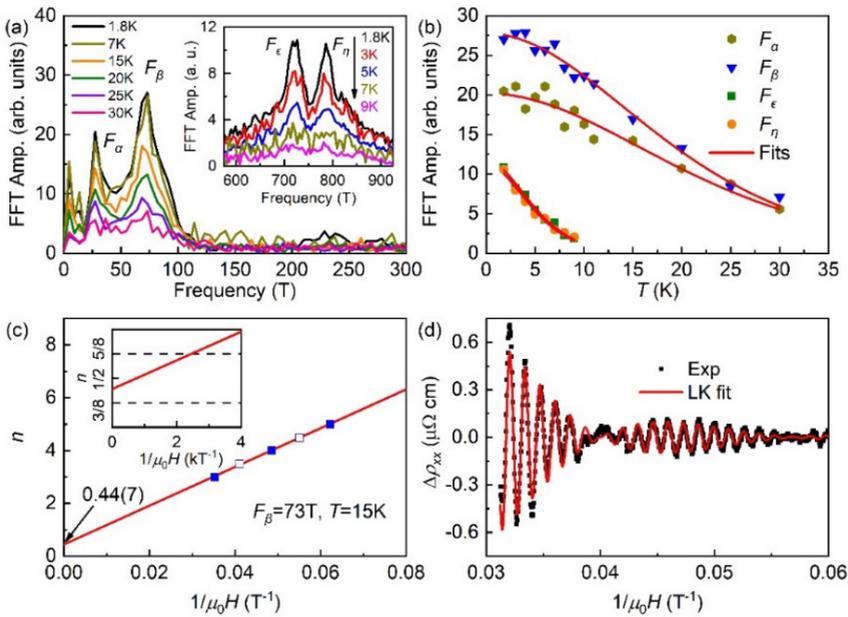
笼目 (kagome) 材料由于包含特殊的晶格结构而表现出许多新的物理性质。对于 kagome 金属，其一般具有非平庸的拓扑电子结构，例如 Dirac 点、鞍点和平带等。如果这种 kagome 金属还拥有长程磁序，则会出现大的反常霍尔效应、负磁阻等一系列奇异的物理现象。因此，kagome 金属已成为研究关联拓扑材料中新物态和新现象的重要平台。

近期，一类新型准二维 kagome 体系 AV_3Sb_5 ($A = K, Rb, Cs$) 引起了人们的极大关注。首先，实验表明该体系在 90-110 K 时会会有一个电荷密度波 (Charge density wave, CDW) 转变，而在更低温 0.9-2.5 K 则会发生超导转变，并且这两者有一定的

相关性。另外，第一性原理计算研究表明该体系在费米面附近存在着 Z2 拓扑属性的非平庸能带结构和表面态。但是，相比于对 CDW 态和超导电性的深入研究，对这类材料的拓扑特性的实验研究还比较缺乏。

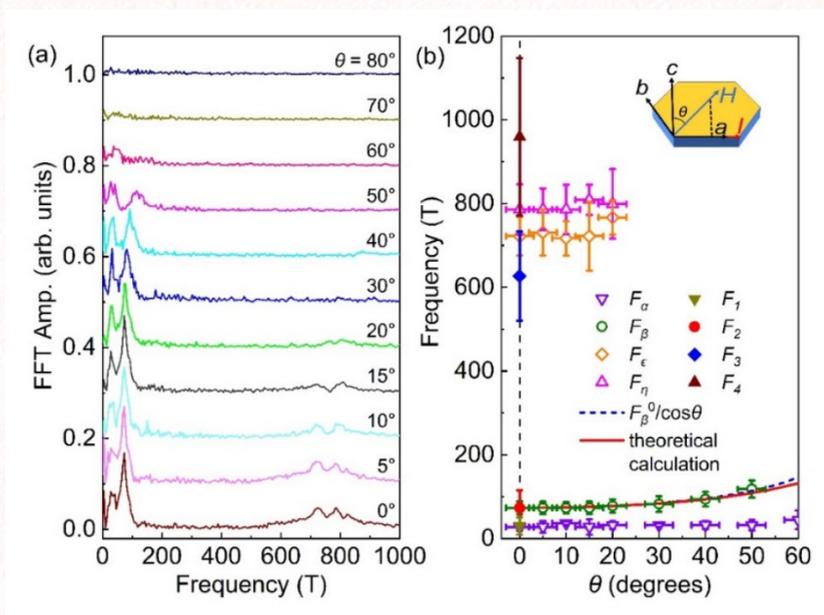
中国人民大学物理学系博士生付阳、殷蔷薇、赵宁宁等人在雷和畅教授、刘凯教授的指导下，与中科院强磁场中心的陈正博士后、朱相德研究员展开合作，并在该中心郝传英副研究员、孙玉平研究员的帮助下，开展了强磁场下 CsV3Sb5 单晶的量子输运物性研究，通过对 Shubnikov-de Haas (SdH) 量子振荡的分析以及与理论计算结果比较，揭示了 CsV3Sb5 的费米面上存在较小有效质量和非零贝里相位的极值轨道，这为 CDW 状态下 CsV3Sb5 中存在拓扑非平庸的电子结构提供了直接的实验证据。

实验发现在低温下 CsV3Sb5 有四个 SdH 振荡频率 $F_\alpha = 27$ T, $F_\beta = 73$ T, $F_\epsilon = 727$ T 和 $F_\eta = 786$ T。通过对不同温度下的数据分析，发现四个频率都有着较小的有效

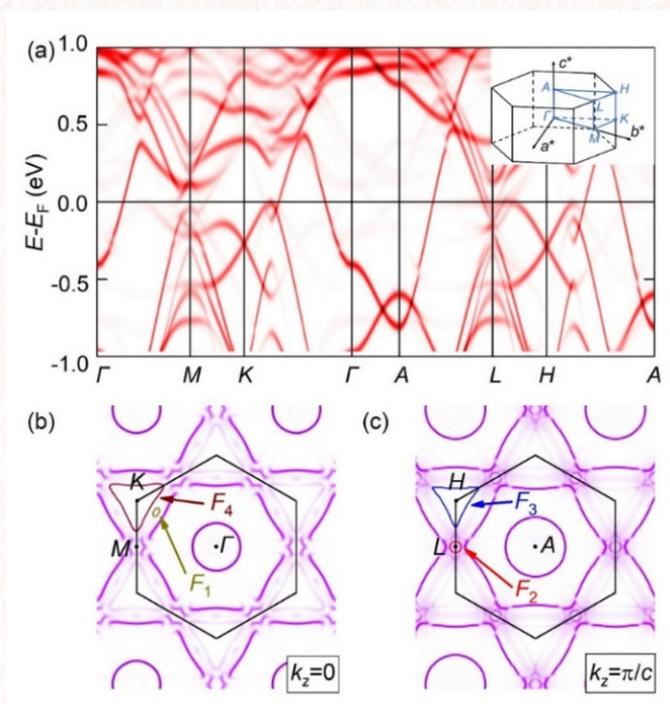


图：ab 面内电阻数据的分析。(a) SdH 振荡数据快速傅里叶变换 (FFT) 频谱图的低频区和高频区。(b) FFT 频谱图中各个频率的峰强随温度的变化，以及拟合曲线。(c) 15 K 下， F_β 对应的 Landau fan 图。(d) 1.8 K 时的高频振荡分量。红线表示使用双频 LK 公式拟合的结果。

质量，特别是 F_α 和 F_β 对应的有效质量仅有 $0.127(8) m_e$ 和 $0.142(4) m_e$ (m_e 为自由电子质量)。接着通过 Landau fan 图的分析，可以确定 F_β 对应的极值轨道的贝里相位为 $1.1(1)\pi$ ；而对高频振荡的 LK 拟合也表明 F_ϵ 对应的费米面极值轨道可能也有着非零的贝里相位，这些结果表明 CsV3Sb5 存在拓扑非平庸的电子结构。此外对于 SdH 角度依赖的研究显示，实验数据能够与发生 Inverse Star of David (ISD) 结构畸变的理论计算结果较好地吻合，并对四个振荡频率所对应的极值轨道进行了指认。这些结果表明，即使在 CDW 态，CsV3Sb5 仍然具有拓扑非平庸的电子结构。



图：转角测量的 FFT 频谱图以及理论计算与实验结果的对比。(a) 不同角度下的 FFT 频谱图。(b) 理论计算与实验结果的对比，实心符号和红实线是理论计算的结果，空心符号是实验的结果，蓝虚线是二维费米面的转角曲线。



图：(a) 发生 ISD 结构畸变后的反折叠能带。插图为原始晶胞的第一布里渊的示意图。(b) 和 (c) 理论计算频率对应的费米口袋位置。

这一研究工作于 2021 年 11 月 12 日在 Physical Review Letters 上在线发表。论文链接：<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.127.207002>