



您现在的位置: [首页](#) > [科学研究](#) > [研究进展](#)

PNAS发表袁辉球团队在重费米子超导方面的最新研究成果

编辑: phyzzl 时间: 2018年05月14日 访问次数: 3401

超导是一种独特的宏观量子现象。当温度低于超导转变温度时,其电阻突然消失并表现出完全抗磁性。近年来,超导材料已经逐渐应用到社会生活当中,如磁共振成像、磁悬浮列车等。当材料进入超导态时,相互排斥的电子会通过某种“胶水”而结合成空间相干的“库珀对”(Cooper pairs),同时在费米面附近打开能隙。早期发现的绝大多数超导体均可由Bardeen-Cooper-Schriener (BCS)理论来解释,其超导电子以电声耦合机制结合成“库珀对”,超导能隙完全打开,磁性杂质抑制超导的出现。这类超导材料通常被称为常规s波超导体。

1979年,德国物理学家Frank Steglich教授(现浙江大学关联物质研究中心主任)首次在磁性重费米子材料 CeCu_2Si_2 中发现超导。与此前所发现的超导材料不同, CeCu_2Si_2 中的超导出现在反铁磁量子临界点附近,形成超导的准粒子具有很大的有效质量(约自由电子的1000倍),从而不可能由基于电声耦合机制的BCS超导理论来描述。重费米子超导体 CeCu_2Si_2 的发现开启了非常规超导研究,后来发现的铜氧化物高温超导体和铁基高温超导体等均属于非常规超导,超导与磁性紧密相关。然而,非常规超导的物理机制仍然非常具有争议,是当前凝聚态物理研究的一个重要科学问题。

超导能隙是揭示超导电子配对态、探索超导形成机理的一个重要物理量。先前大量实验表明, CeCu_2Si_2 与铜氧化物高温超导体一样,属于d波超导体,其超导能隙在某些方向消失,存在能隙节点。然而,最近的比热测量表明, CeCu_2Si_2 的超导能隙没有节点,表现出类s波超导的性质,这与先前的许多实验结果矛盾,成为当前重费米子超导研究的一个新热点问题。

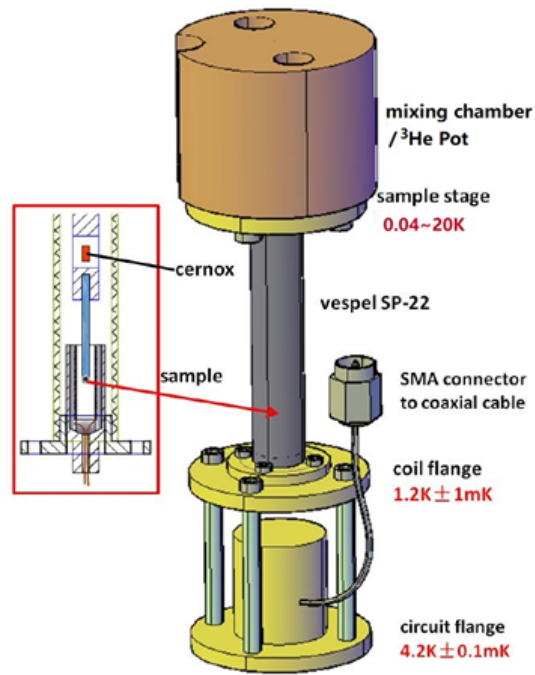
通过测量 CeCu_2Si_2 的低温磁场穿透深度(最低温达0.04K),浙江大学关联物质研究中心/物理系的袁辉球教授团队及其合作者提出了一种解决这个矛盾问题的新思路,相关研究成果于5月8日在线发表在《美国科学院院刊》(Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,简称PNAS)。袁辉球教授团队发现,不同类型 CeCu_2Si_2 样品的磁场穿透深度在极低温均呈现出指数依赖关系,进一步证实了超导能隙无节点。通过与赖斯大学斯其苗教授合作,袁辉球教授等在文章中提出了一种新的超导配对态,即基于两能带的d波混合超导配对。在该模型中,带内电子具有 $d_{x^2-y^2}$ 波配对对称性(类似铜氧化物高温超导体),而两个能带间的超导配对则为 d_{xy} 波。因此,该模型本质上仍属于d波超导,表现出d波超导的一些属性,但由于带内和带间配对波函数的相位相差 $\pi/4$,其超导能隙完全打开而没有能隙节点。该模型既可以完美地拟合磁场穿透深度和比热等最新实验结果,又可以解释先前实验观察到的d波超导性质,为 CeCu_2Si_2 看似矛盾的实验结果提供了一个合理的解释。这一物理思想还可以延伸到其它的超导体系,为理解非常规超导提供了一种新的途径。

博士研究生庞贵明为论文第一作者,袁辉球教授为论文通讯作者,合作单位包括美国赖斯大学、德国马普固体化学物理研究所和奥格斯堡大学等科研院所。该项研究得到了国家重点研发项目、国家自然科学基金委以及中德科学中心合作小组项目的资助。

论文连接: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1720291115

实验测量方法:

基于隧道二极管的低温磁场穿透深度测量装置具有灵敏度高、测量温度低等优点,是研究超导序参量的一种重要实验手段。利用该套自主开发的实验装置,近年来袁辉球教授团队在非常规超导序参量的研究方面取得了一系列研究成果,在PNAS和Physical Review Letters等杂志上发表了20余篇论文。2017年,团队成员Michael Smidman博士和袁辉球教授应邀为著名物理综述期刊Reports on Progress in Physics撰写综述一篇,系统介绍了他们利用该套实验装置,在非中心对称超导序参量方面的研究成果。(注:该文已被ESI选为“热点论文”和“高被引论文”)



基于共振隧道二极管的

磁场穿透深度测量装置示意图