



2015年度浙江大学学术进展

重费米子体系中的非常规量子相变研究

★★★★★ (入选年度十大学术进展)

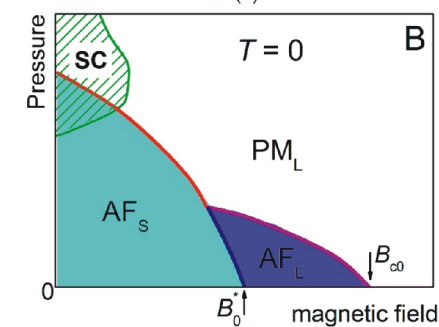
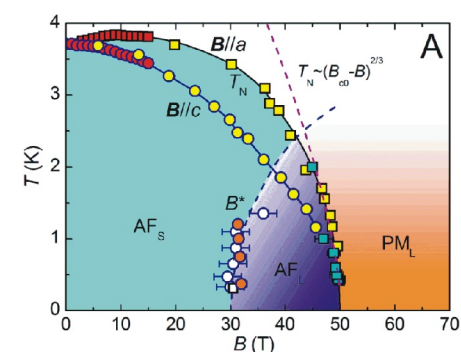
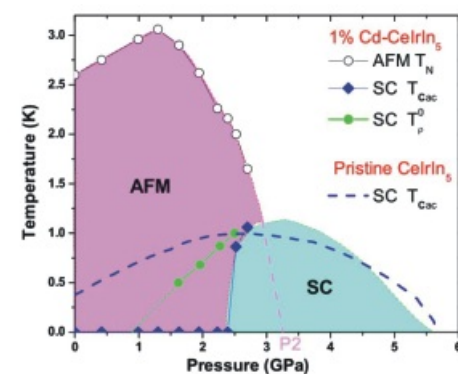
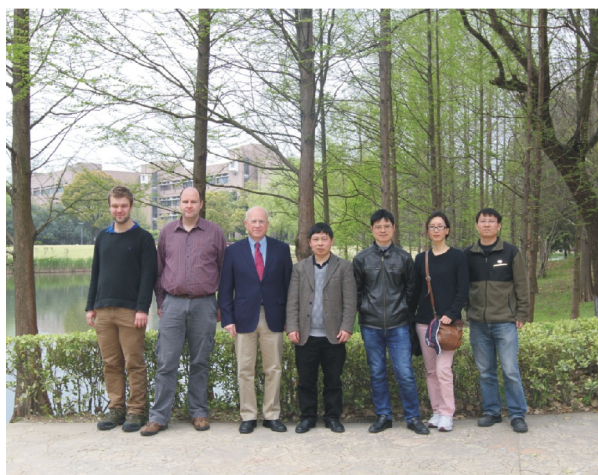
发生在绝对零度的量子相变表现出独特的物理行为。我们的研究表明，不同类型的量子临界点存在于同一重费米子材料中，并可以通过费米面的测量来进行表征，超导可以出现在非常规量子临界点附近。

项目负责人：袁辉球

相变是自然界中普遍存在的一个物理过程，是物质中有序与无序两种倾向相互竞争的结果。例如，冰融化成水，铁、钴、镍等金属材料中的铁磁与顺磁转变均为典型的相变过程。经典的热力学相变具有普适性，可由序参量的涨落来进行描述。

当一个体系冷却到热力学极限时（约零下273.15度），通常的热力学涨落会被冻结，量子效应将主导其物理性质。在一些复杂的关联电子材料中，人们可以通过压力、磁场或者掺杂等外界参量来调节体系中的电子相互作用，从而连续地抑制这些体系中的热力学相变。当外加调控参量达到某一临界阈值时，体系可在绝对零度经历有序-无序转变，即量子相变。量子临界点就像自然界中的黑洞一样，决定了体系在临界区域很大范围内的奇异物理性质。

重费米子体系是一类典型的强关联电子体系，主要存在于一些含有镧系和锕系元素的金属间化合物中，其电子有效质量可高达自由电子的上千倍，重费米子因此而得名。重费米子体系表现出丰富的物理性质，是研究非常规超导、量子相变以及其它新颖量子态或者量子效应的理想体系。先前由于实验条件的限制，国内的重费米子



研究基础比较薄弱，人才储备少。2008年，袁辉球教授从美国拉斯阿拉莫斯国家实验室回国，加盟浙江大学，致力于在国内发展重费米子研究。在他的努力下，2012年浙江大学成立了关联物质研究中心，并聘请重费米子超导的发现者、德国马普固体化学物理所前所长Frank Steglich教授担任中心主任。目前，该中心已从海外引进了5位全职PI，组建了一支国际化的高层次重费米子研究团队。

通过强磁场和压力等综合极端条件下的多种物性测量，我们系统地研究了准二维重费米子金属CeTIn₅ (T=Rh, Ir) 中的多重量子相变及其与超导的关系。利用世界上最强的脉冲和稳态磁体，我们发现磁场可以连续地抑制CeRhIn₅中的反铁磁序，在很高的磁场下（约50特斯拉）出现反铁磁量子临界点。在反铁磁态内，强磁场还诱导了费米面重构，从“小”费米面变成“大”费米面。这些发现不同于压力诱导的反铁磁量子临界。我们的研究表明，在不同的外界参量调控下，同一重费米子材料中存在不同类型的量子相变，不能由经典的序参量涨落来进行普适描述，但可以通过费米面的变化来进行表征。同时，我们还发现超导可以出现在不同类型的量子临界点附近。通过元素替换，我们发现CeIrIn₅位于反铁磁量子临界点附近，超导电子配对应该起源于自旋涨落而非先前讨论的价电子涨落。在Cd掺杂的CeIrIn₅研究中，我们发现Cd掺杂对压力下的超导态几乎没有影响，但抑制了量子临界点附近的反铁磁的长落。我们提出了自旋液滴模型来解释这一现象。而当系统偏离量子临界点的平衡态时，我们从理论上提出了等效温度的概念。

2015年，美国科学院院刊 (PNAS)和物理评论快报 (Phys. Rev. Lett., 2篇)等著名期刊相继发表了我们在重费米子量子相变方面的系列研究成果。这些发现为建立量子相变理论、揭示非常规超导机理提供了重要实验证据。部分结果还以研究亮点的形式入选美国国家强磁场实验室的年度报告，代表当年最重要的强磁场研究成果之一。目前，国际上的几个主要强磁场实验室都在进行跟踪研究，剑桥大学等多个研究小组也在开展相关的理论研究。我们的发现立即引起了一些重要期刊的关注，物理类著名综述期刊Reports on Progress in Physics随即邀请我们撰写综述论文一篇，系统介绍这些研究成果。