
重费米子体系中杂化动力学的理论研究与实验探测 获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/8284.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

长期以来，对重费米子物理的理解主要基于平均场方法所提供的静态杂化图像。该图像认为f电子在相干温度 T^* 之下会在费米面附近与导带发生杂化，从而形成重电子能带，并产生直接和间接杂化带隙，引起f电子的局域 - 巡游转变。但是近些年来，有越来越多的实验证据表明，真正理解重费米子的局域 - 巡游转变物理必须超越平均场理论的简化图像。中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心EX9组研究员杨义峰与合作者一起，对这一问题进行了长期探索，发展了唯象的重费米子二流体理论，并提出以杂化的动力学涨落为基础，重新建立重费米子物理的基本理论图像。2017

年，复旦大学封东来研究组测量了重费

米子材料 CeCoIn_5

的角分辨光电子能谱（ARPES），发现杂化导致的能带弯折（bending）远在其他实验如电阻测量给出的相干温度 T^* 之上就已经出现，不同于通常平均场图像的预期，导致了理解上的矛盾和困惑。

最近，杨义峰与电

子科技大学教授齐静波等人合作，利

用超快光谱对 CeCoIn_5

进行了系统研究，发现该

体系中实际上存在两个特征温标（图1）： $T^{(\text{dagger})}$ 和 T^* 。其中高温温标 $T^{(\text{dagger})}$

对应ARPES测量中能带弯折开始出现的温度，

在 $T^{(\text{dagger})}$

之上，超快实验探测到的高能准粒子

弛豫率近似不变，在 $T^{(\text{dagger})}$

之下开始随温度降低快速下降，表明杂化改变了费米面附近的电子结构，导致直接带隙，抑制了

高能准粒子的能量弛豫。而低温温标 T^* 则恰好对应传统电阻测量的相干温度，在 T^* 之下，弛豫

率呈现非线性效应，大小依赖于辐照光强，这一现象意味着态密度上出现了窄的能隙（间接带隙

），导致了弛豫过程的瓶颈效应（图2）。超快光谱同时探测到了这两个现象，对两种不同带隙

具有不同响应，而ARPES只探测到 $T^{(\text{dagger})}$

之下的直接带隙，受限于能量分辨率无法看到 T^* 处才出现的小的间接带隙，电阻则在 T^* 之下间

接带隙出现时才发生明显变化。

以上结果表明，直接和间接带隙并非如平均场理论预言的那样同时出现，而是随温度降低逐步发

展的两阶段过程：杂化效应在高温 $T^{(\text{dagger})}$

处开始出现，首先导致费米面附近的能带弯折和直接带隙，进而随温度降低逐步发展，在低温 T^* 处开始发生长程关联，形成间接带隙，此后重电子态才真正建立并受到间接带隙的保护。为了证明这一图像，杨义峰指导博士研究生胡丹青、董建军等，对周期性Anderson模型进行了蒙特卡罗数值模拟（DQMC），仔细分析了杂化关联随温度的演化，发现在平均场所预言的间接带隙打开之前，确实存在一个高温过渡区，具有低能的杂化涨落行为并导致费米面处直接带隙的出现，这一现象是平均场理论所没有的。

以上研究从实验和理论两个方面表明了动态杂化涨落的重要性，从而有必要在杂化动力学的基础上重新理解重费米子物理。但要穿越传统图像的迷障，构建新的重费米子微观理论将仍是一个漫长的过程。相关工作分别发表于Phys. Rev. Lett. 124, 057404 (2020)和Phys. Rev. B 100, 195133 (2019)，得到了基金委（11974397、11774401、11522435）、科技部（2017YFA0303103、2015CB921303）和中科院青促会的支持。

论文链接：[12](#)

的超快光谱，2ps处信号的弛豫率随温度降低呈现出两类不同的特征，定义了两个不同的温度区间。

图2：(a) T*之下的静态杂化示意图；(b) 存在间接杂化带隙时的准粒子弛豫过程。

图3：基于杂化涨落计算出的重费米子相图，背景颜色为杂化涨落的强度。其中IV为静态杂化区，III为动态杂化涨落区，物理上分别对应超快实验中的低、高温两个不同温区。

研究团队单位：物理研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发