

More Than Band Theory

Kean 2021.05.02

1	朗道范式	2
1.1	对称性破缺 ^[1]	2
1.2	朗道费米液体 ^[2]	2
2	安德森	4
2.1	对称破缺	4
2.2	元激发	4
2.3	广义刚度	4
2.4	拓扑缺陷	4
3	强关联体系	4
3.1	(分数) 量子霍耳效应	4
3.2	重费米子系统	5
3.3	高温超导体	5
3.4	庞磁阻	5

1 朗道范式

1.1 对称性破缺^[1]

基本问题：如何描述相变？

数学工具：群论（对称性）

之所以有相变，是因为存在两种因素，即能量与混乱程度（称作熵）的互相竞争 $F = U - TS$ 。为了让自由能更低，需要尽量满足能量低而熵高。竞争的结果就是存在一个临界温度 T_c ，发生相变。

传统的相变研究方法是平均场近似，把多体问题转变为单体问题，朗道用群论给出了一个普遍的描述，这就是二级相变的朗道理论。该理论强调了相变时对称性变化的重要性，并指出可以用序参量来描述相变时的对称性破缺。序参量是一个反应体系内部状态的热力学变量。理论的基本点是把自由能作为温度和序参量的函数按幂级数展开。这种根据物体的对称性及其破缺的方式来研究相和相变的方法称为朗道范式。

大多数物质的简单相态或相变，例如晶体、磁铁、一般超导体等等，可以从自发对称破缺的观点来了解。像分数量子霍尔效应一类的拓扑相（topological phase）物质是值得注意的例外。

通常有限温度的连续相变在二维情况下是没有的（Ising 模型是特例），因为熵的增益比能量降低要强得多。但是，二维情况下通过涡旋（即所谓的拓扑缺陷，由拓扑旋绕数表征）可以发生一种拓扑相变（KT 相变），两点关联可以随距离作幂律衰减，而非指数衰减。

1.2 朗道费米液体^[2]

基本问题：在一些存在相互作用的系统中，费米子的性质和理想费米气体为何那么相似？

数学工具：群论（重整化群）

费米液体理论中引入了准粒子(quasiparticles)的概念。材料中的电子作为准粒子，可以类比成自由电子。准粒子携带相同的自旋，电荷，动量，只是由于电子之间以及和晶格的相互作用，我们需要重新定义材料中电子的有效质量。费米液体(Fermi Liquid)是一个理论模型，可以用来描述大多数金属和半导体中的电子（费米子）是如何相互作用的。

准粒子又称元激发。能量靠近基态的低激发态比较简单，往往可以看成一些独立的基本激发单元的集合，这些基本激发单元就成为元激发，用来将复杂的多体系统简化成接近理想气体的系统。大体上分为集体激发和单粒子激发两种。声子、铁磁材料的自旋波就属于集体激发模式，费米液体、激子、极化激元、库伯对就属于单粒子激发。高浓度的准粒子需要考虑相互作用，这也是热门领域。

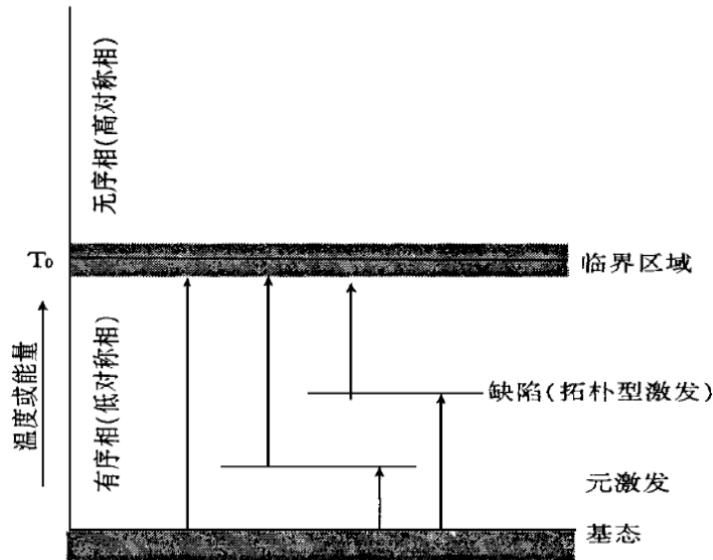


图 3 与对称破缺有关的多粒子系统的能态示意图

描述一维的费米子系统的模型称为 Luttinger liquid。对于一维的费米子系统，只要存在一点相互作用，不管多微弱都会导致费米液体理论的失效。这是由于泡利不相容原理，Luttinger liquid 中不存在单粒子激发，只存在集体激发。

2 安德森

2.1 对称破缺

2.2 元激发

2.3 广义刚度

2.4 拓扑缺陷

缺陷 (defect) 是序参量函数出现奇异的低维区域，对于不能通过序参量连续形变而消失的缺陷人们称它为拓扑缺陷。X-Y Model、Superfluid、Superconductor 是典型的存在拓扑缺陷的例子。

3 强关联体系

3.1 (分数) 量子霍耳效应

基本问题：

数学工具：拓扑学

拓扑不变性在数学上是指物体在连续变化下保持不变的性质。起初物理学者们关于拓扑地认识仅局限于系统有无自由拓扑缺陷 (拓扑元激发) 来区分相，直到 1980 量子霍尔效应被发现。在人们密切地关注这个问题并且在尝试提出合理的理论的过程中，人们关于拓扑的认识更一步地加深，同时激起了凝聚态领域对于离散对称性的进一步关注和认识，拓扑由此在物理学中得到了严格而普遍地推广。

现在人们认识到，Haldane 相、整数量子霍尔效应态和拓扑绝缘体都属于对称性保护的拓扑态。量子霍尔电导的量子化起源于拓扑，量子化的整数是陈省身数。这与分数量子霍尔效应和自旋液体不一样。二者可以用量子纠缠的不同情况区分开来。

3.2 重费米子系统

3.3 高温超导体

3.4 庞磁阻

参考

[1] 《热力学与统计物理》汪志诚 第三章

[2] 《固体物理》黄昆 第十一章