

# More Than Band Theory

Kean 2021.05.02

1	朗道范式 .....	2
1.1	对称性破缺 <sup>[1]</sup> .....	2
1.2	朗道费米液体 <sup>[2]</sup> .....	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<sup>[1]</sup>

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两维情况下是没有的 (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<sup>[2]</sup>

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。

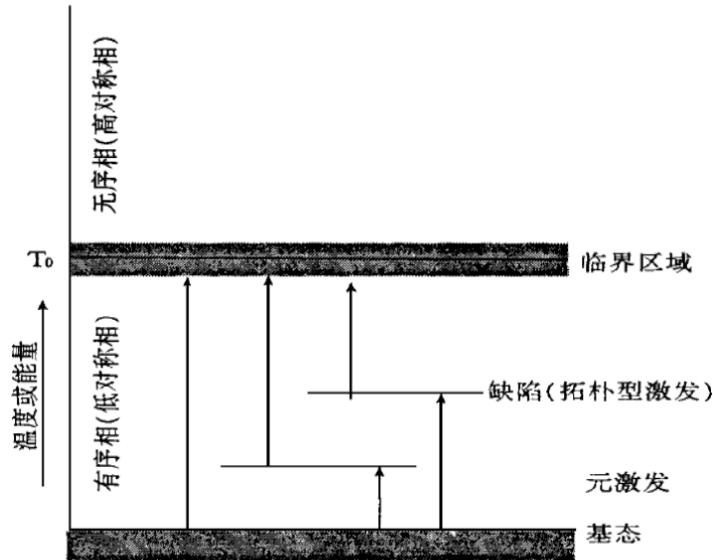


图 3 与对称破缺有关的多粒子系统的能态示意图

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