

Coleman

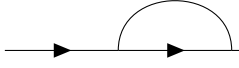
Billy Shen

2021 年 10 月 25 日

第十章 质量重整化和费曼图

10.1 质量重整化

当我们往旧理论（比如平衡态，单体）加入新的内容时，我们仍希望能沿用旧理论的框架，而只进行一些小改动。或者说，当我们要考虑一大堆的相互作用时，我们希望将其中的多个统一成一个，来减少要考虑的数量。这种简化的过程可能是严格的，也可能是近似。这个过程就叫做重整化。

在 Model3 中，由于核子和介子的相互作用被缓慢开启，我们相信这会改变粒子的质量（等效质量）。因为粒子会发生一些从自身到自身的作用，而这些作用时刻发生，因此必须单独考虑它们，比如：。我们将这部分相互作用等效为粒子质量的变化，并且发现这是有效的。

我们引入有关质量的 counterterm 来抵消这个影响。这里的抵消是指，使得单粒子经过散射矩阵后的状态不变：

$$\langle q|S|q' \rangle = \delta^{(3)}(q - q') \quad (10.1)$$

$$\langle p|S|p' \rangle = \delta^{(3)}(p - p') \quad (10.2)$$

如果 S 矩阵能正确地处理单粒子，我们相信它也能正确地处理多粒子态。

引入 counterterm 后的哈密顿量密度变为：

$$\mathcal{H}_I = -f(t) \left[-g\psi^*\psi\phi + a + \frac{1}{2}b\phi^2 + c\psi^*\psi \right] \quad (10.3)$$

注意这里必须改变的是能量密度而不是整体哈密顿量，因为新增加的 counterterm 不是全空间均匀的。而在 Model2 中，基态是均匀的，因此可以只改变整体哈密顿量。

拉格朗日密度为：

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu\phi)^2 - \frac{1}{2}\mu\phi^2 + \partial^\mu\psi^*\partial_\mu\psi - m\psi^*\psi + f(t) \left[-g\psi^*\psi\phi + a + \frac{1}{2}b\phi^2 + c\psi^*\psi \right] \quad (10.4)$$

其中的 μ 和 m 都是 physical mass 而非 bare mass，会在过程中变化。引入 b 和 c 反而是为了消除这种变化，让拉格朗日表现得就像是粒子的质量从未改变。这里的场 ϕ 是裸场，而不是在重整化后能观察到的场 ϕ_R 。

10.2 费曼图

费曼图表示了一个具体的物理过程，一些确定动量的粒子经过一些相互作用产生了一些确定动量的粒子。用费曼图可以计算不变费曼振幅，定义为：

$$\langle f|S-1|i\rangle = (2\pi)^4 \delta^{(4)}(p_f - p_i) i\mathcal{A}_{fi} \quad (10.5)$$

从费曼图计算不变费曼振幅的规则成为费曼规则，书中有详细的介绍。

费曼图 tricky 的地方在于它的计数和它的物理意义。关于前者，就是一大堆从 Wick 图出发的组合，当图非常复杂时很难计算到底有几个；我觉得更好的思考方式是数有几种可能的物理过程。关于后者，我没搞懂虚过程和缩并的关系：缩并应该只给出一个数，但虚过程却像是真的有一个粒子在传递能量。

在考虑 2 阶费曼图时，我们并没有考虑 counterterm 和相互作用项的缩并。这为什么合理？