Chapter 4 微扰论与费曼规则

4.1 相互作用理论

二阶或更低阶的理论仅适用于描述自由场

相互作用的场：引入三阶或更高阶的项

- 电磁相互作用：Maxwell eqn 指引过渡
- 其他相互作用（强/弱等）：无经典对应

也可用 local symmetry 描述

相互作用场论基本无解析解，唯一系统求解的方法是微扰论。我们将讨论如何建立微扰理论并进行计算。

最终的主要结果是一系列 Feyman 规则。

4.1.1 $\lambda\phi^4$ 的例子

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu\phi)^2 - \frac{\mu^2}{2}\phi^2 - \frac{\lambda}{4!}\phi^4.$$

可得运动方程

$$(\Box + \mu_0^2)\phi = j(x) = -\frac{\lambda}{3!}\phi^3.$$

及共轭动量

$$\pi(x)=\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial(\partial_0\phi)}=\partial_0\phi.$$

- 量子化

$$\mathcal{L}=\underbrace{\frac{1}{2}(\partial_\mu\phi)^2-\frac{\mu^2}{2}\phi^2}_{\mathcal{L}_0}-\underbrace{\frac{\lambda}{4!}\phi^4}_{\mathcal{L}_{int}}.$$

对易关系

$$[\pi(x,t),\phi(y,t)]=-i\delta^3(x-y),\quad[\pi(x,t),\pi(y,t)]=[\phi(x,t),\phi(y,t)]=0.$$

$$\mathcal{H}=\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial(\partial_0\phi)}\partial_0\phi-\mathcal{L}=\frac{1}{2}(\partial_0\phi)^2+\frac{1}{2}(\nabla\phi)^2+\frac{1}{2}\mu_0^2\phi^2+\frac{\lambda}{4!}\phi^4.$$

尽管可以找到量子化所需对易/反对易关系，

但找到$\mathcal{H}$的本征值/本征态非常难

- 物理态的性质

高能物理中，我们通过散射过程来研究相互作用

假定考虑的相互作用是短程的。

远离相互作用的区域以自由粒子形式传播，由自由场描述。

选择动量算符的本征态为物理状态

$$P_\mu|\psi\rangle = p_\mu|\psi\rangle$$

这是因为散射过程中粒子都有确定的能量和动量

这些物理态要求满足一定条件.

(a) $p^2 = p_\mu p^\mu \geq 0$. $p_0 \geq 0$.

意味着能量本征值都是正的.

(b) 存在一个非简并的 Lorentz 不变的基态 $|0\rangle$. 最低能量为0.

即 $P|0\rangle = 0$. $\vec{P}|0\rangle = 0$.

(c) 存在稳定的单粒子态 $|p_i\rangle$, 每个稳定的粒子满足 $p_i^2 = m_i^2$.

(d) 真空和单粒子态组成了 P^μ 的离散谱

将场算符 $\phi(x)$ 与每个出现在 P^μ 中的离散态联系起来.

课上讲了什么?

2 Interacting QFT

2.1 ~ 2.2 Path Integral. QM & QFT approach

2.3 Correlation function 2-point function

2.4 Generating functional and perturbative expansion

2.5 $\lambda\phi^4$ and Feynman rules

2.6 Meaning of $W[J]$ 2.7 Continuous Symmetries