

Majoron 学习理解第一次汇报

翁俊

- ① Dirac 中微子：质量项保持了轻子数守恒。
- ② Majorana 中微子：质量项破坏轻子数守恒
 - ① 引入右旋中微子 Majorana 质量项或轻子数耦合到 Higgs 场破坏轻子数守恒
 - ② 轻子数守恒局部破缺，产生有质量的矢量介子，耦合到轻子流
 - ③ 轻子数守恒整体自发性破缺，产生无质量的 Goldstone boson

第三种情况下的 Goldstone boson 为 Majoron(记作 J)，与物质的相互作用非常微弱，以至于在实验上很难看到。

右手中微子模型中的 Majoron

自旋为 0 的规范单态场 S 与 Yukawa 耦合后:

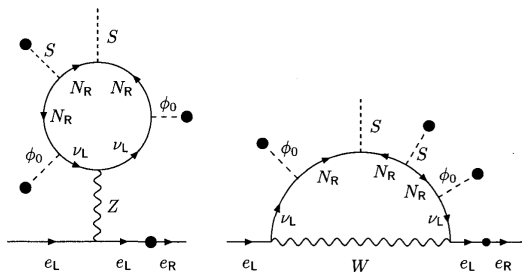
$$-\mathcal{L}'_Y = \sum_{\ell, \ell'} b_{\ell\ell'} \widehat{N}_{\ell L} N_{\ell' R} S + \text{h.c.}$$

在标量势中, 将 B-L 破坏的项去掉以后, B-L 是 global 对称的。 S 带有量子数, 当真真空期望值 $\langle S \rangle \neq 0$ 时, B-L 对称性破缺, 也就产生了 Majoron。

S 是复数形式的场, 实部是其真真空期望值, 虚部则是 Majoron。

右手中微子模型中的 Majoron

一圈图如图：（计算方法还需要复习）



图：Majoron 与 Fermion 的耦合

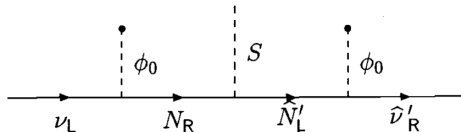
计算得到 Majoron 与电子的耦合常数：

$$g_{eJ} \sim \frac{1}{16\pi^2} G_F m_e \frac{M^2}{B} \sim \frac{1}{16\pi^2} G_F m_e m_\nu$$

右手中微子模型中的 Majoron

在该模型下，存在如下过程：

$$\nu \rightarrow \nu' + J$$



图：中微子通过发射 Majoron 衰变

该过程的振幅与轻中微子和重中微子的混合比例的平方成正比，即为 $\frac{M^2}{B^2}$ ，使得这个过程的寿命是大于宇宙寿命的。

这部分我还没有看完，下次一定

Majoron 观测的物理过程

① $\mu \rightarrow e + J$

- 实验给出的衰变宽度: $\Gamma(\mu \rightarrow e + J) < 3 \times 10^{-4}$
- 类似的实验如 kaons 和 pions 衰变给出的结果比 muon 小两个数量级
- 目前给出限制: $g_{eJ} < 10^{-10}$

② $\gamma + e \rightarrow e + J$

- 该过程是天体物理的观测范畴
- Majoron 发射到恒星外时, 会携带能量, 根据现有的恒星光度可给出限制
- $\sigma \simeq \frac{(eg_{eJ})^2}{12\pi} \frac{\omega^2}{m_e^4}; L_{\text{majo}} \simeq \frac{\alpha g_{eJ}^2 T^6}{3m_e^4 m_p}$
- 目前给出限制: $g_{eJ} < 10^{-10}$

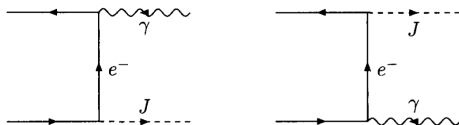


图: Majoron 的产生

下一步计划

- ① 中微子质量机制，不理解中微子质量机制，对于 Majoron 模型的理解会有囫圇吞枣的问题。
- ② 复习 Feynman 图计算（基本忘记完了）
- ③ Higgs 机制，对于质量的理解，可能是必须的
- ④ JUNO 实验，是否存在给出对 Majoron 发射过程 g_{eJ} 的更好限制的可能性。
- ⑤ ...