

Z^0 的辐射衰变和重轻子

刘耀阳

(中国科学技术大学)

摘 要

用 $SU(2) \otimes U(1)$ 规范理论, 假定轻子为两个左手二重态两个右手二重态, 两个中性左手单态. 自发破缺的结果除电子和电子中微子外, 还出现新的中微子以及一个带电的和两个中性重轻子. 假定带电重轻子质量介于 Z^0 和 W 之间, 至少有一个中性重轻子比较重, 则 Z^0 的辐射衰变实验可以得到解释.

近来实验发现了 Z^0 的辐射衰变^[1], 其分支比远大于 Weinberg-Salam 理论的预言值, 因此引起了许多理论物理学家的兴趣^[2]. 本文希望指出, 这个现象可以用存在新的带电重轻子 E 和中性重轻子 N 来解释. 假定 E 的质量介于 Z^0 和 W 的质量之间, 则实验上所观察到的 Z^0 辐射衰变实际上是一个级联过程, Z^0 首先衰变到 E 和 e , 然后 E 再衰变到 e 和 γ .

第一步要建立一个模型. 稍加思索就会发现, 这是一个轻子数不守恒的过程, 并且和人们早已熟悉的 μ 到 $e\gamma$ 过程非常相象. 后者以往人们设想了许多模型, 并进行过详细计算^[3], 其中 Ta-Pei Cheng (郑大培) 和 Ling-Fong Li (李灵峰) 的模型讨论的比较多^[3]. 对于我们, 目前首要的是研究重轻子模型能否给出 Z^0 辐射衰变的定性解释, 而不是把模型定下来. 作为试探, 可以把郑大培和李灵峰提出的模型直接推广到我们的情况. 选择 $SU(2) \otimes U(1)$ 作为规范群, 假定存在的轻子态是: 两个右手二重态, 两个左手二重态, 两个左手中性单态. 标量场仍选择为二重复数场, 则经过真空自发破缺和质量矩阵对角化, 实现的物理粒子是: 两个无质量左手中微子, 电子和另一个带电粒子 E 以及两个中性有质量粒子 N_1 和 N_2 . 类似于 GIM 机制, 最低级近似下 Z^0 到 Ee 是禁戒的, 但三阶近似是允许的. 详细情况是: Z^0 先变成 W 粒子对, 其中一个放出虚的 N_1 (或 N_2) 变为终态的 E , N_1 (或 N_2) 被另一个 W 粒子吸收变为终态的 e , 从而完成级联反应的第一级. 我们假定郑大培和李灵峰给出的公式定性地可用, 并 N_1 的质量 m_1 远大于 N_2 的质量, 则 Z^0 到 Ee 和 $2e$ 的跃迁几率 w 的分支比为

$$\frac{w(Z^0 \rightarrow Ee)}{w(Z^0 \rightarrow 2e)} = \frac{3\sqrt{2} \cot^2\theta_w}{2^{10}\pi^3} \frac{m_1^4}{\cos^2 2\theta_w m_W^4} \sin^2 2\varphi \alpha m_Z^2 G_F \ln\left(\frac{m_1^2}{m_W^2} + 3\right) \times \left(1 + \frac{m_E^2}{m_Z^2}\right) \left(1 + \frac{5}{3} \frac{1 - m_E^2/m_Z^2}{1 + m_E^2/m_Z^2}\right) \left(1 - \frac{m_E^2}{m_Z^2}\right)^2. \quad (1)$$

其中 m_E 是 E 的质量, G_F 是费米耦合常数, φ 是新出现的参量. 若 E 主要通过 $e\gamma$ 道衰变, 试取 m_E 为 $88 \text{ GeV}/c^2$, $\varphi = 30^\circ$, 则由实验的 $Z^0 \rightarrow e^+e^-\gamma$ 分支比定出 m_1 的估计值为 $10m_W$.

接下来讨论 E 衰变. 同样, 最低阶近似下 $E \rightarrow e\gamma$ 禁戒, 但三阶过程允许. 不过还有重要的衰变道 $e\nu_e\nu_E$ 和 $3e$, 若理论能够自洽, 后两道的分支比必须很小. 计算得到 $e\nu_e\nu_E$ 道与 $e\gamma$ 道的分支比为

$$\frac{w(E \rightarrow e\gamma)}{w(E \rightarrow e\nu_e\nu_E)} = \frac{75}{128} \frac{\alpha}{\pi} \sin^2 2\varphi \frac{m_1^4}{m_W^4}. \quad (2)$$

代入前面得到的 m_1 值, (2) 式的值约为 10. $3e$ 道衰变率的计算比较复杂, 但是有了上述估计也可以得到比较简洁的结果, 最后所得的 $3e$ 道和 $e\gamma$ 道的分支比是

$$\begin{aligned} \frac{w(E \rightarrow 3e)}{w(E \rightarrow e\gamma)} = \frac{\alpha}{75\pi} \left[50 \ln \frac{m_E}{2m_e} + \left(16 + \frac{19}{\sin^4 \theta_W} \right) \ln^2 \frac{m_1}{m_W} \right. \\ \left. - \left(56 + \frac{42}{\sin^2 \theta_W} \right) \ln \frac{m_1}{m_W} \right]. \quad (3) \end{aligned}$$

代入 $m_1 m_E$ 的估计值, 上式给出的分支比约为 0.08.

这样, 我们就证明了重轻子理论和实验没有冲突. 该理论重要的一点是预言存在中性重轻子, 其中一个质量比较高, 另一个 N_2 的质量比较低.

由于实验数据的不足, 并不能把模型定下来, 所以我们可以构造各种各样的模型来解释实验. 譬如推广的 Weinberg-Salam 模型^[3], 得到

$$\frac{w(E \rightarrow e\gamma)}{w(E \rightarrow e\nu_e\nu_E)} = \frac{3\alpha}{128\pi} \sin 2\varphi \frac{m_N^4}{m_W^4}. \quad (4)$$

其中 m_N 是中性重轻子的质量, 而要符合实验其质量还要高.

需要指出, 上面计算所用的公式都略去了传播子的动量效应, 对于我们所处的问题来说自然不令人满意. 此外郑大培和李灵峰的模型预言的中性流是矢量型的, 与原子物理宇称不守恒的实验不符. 这些问题都需要而且可以解决, 用存在新的重轻子来看 Z^0 辐射衰变看来比较自然. 如果进一步实验确定新重轻子存在, 那么根据反常消除的要求, 势必同时存在新的夸克, 这当然是实验上和理论上更加有兴趣的问题.

参 考 文 献

- [1] G. Arnison et al., *Phys. Lett.*, 126B(1983), 298; P. Bagnaia et al., *Phys. Lett.*, 129B(1983), 130.
- [2] Zhu Zhong-yuan and Zhang Jian-zu, *Commun. in Theor. Phys.*, 3(1984), 379.
- [3] T-P Cheng and L-F Li, *Phys. Rev.*, D16(1977), 1425; B. W. Lee and E. Shrock, *Phys. Rev.*, D16(1977), 1444; J. D. Bjorken, K. Lane and S. Weinberg, *Phys. Rev.*, D16(1977), 1474; S. Bilenky, S. Petcov and B. Pontecorvo, *Phys. Lett.*, 67B(1977), 309.

RADIATIVE DECAY OF Z^0 AND HEAVY LEPTON

LIU YAO-YANG

(*University of Science and Technology of China*)

ABSTRACT

In the framework of the $SU(2) \times U(1)$ gauge theory, we assume that there are two left-handed doublets, two right-handed doublets and two neutral singlets of leptons. After the spontaneous symmetry breaking, we have electron and its neutrino, a new charged heavy lepton and its neutrino, two neutral heavy leptons. We assume that the mass of the charged heavy lepton is between that of Z^0 and W , and at least one of the neutral heavy leptons has a larger mass, then the radiative decay of Z^0 can be understood.