

关于弱相互作用的中間玻色子問題*

陈 啓 洲¹⁾

(北京大学物理系)

在基本粒子弱相互作用中, 宇称不守恒的现象被发现以后, Feynman 和 Gell-Mann 提出普适费米相互作用的理論^[1]. 这个理論假定: i) 奇异粒子的輕子衰变过程 $\Delta S = \Delta Q$; 其中 S 和 Q 是强作用粒子的奇异量子数和电荷; ii) $|\Delta S| \leq 1$; iii) $|\Delta I| = 1/2$. 但是, 最近实验上发现, 奇异粒子的輕子衰变过程存在 $\Delta S = -\Delta Q$ 的现象^[2]. 这样, 普适费米作用遇到很大困难. 为了解释弱相互作用现象, 李政道和楊振宁提出了矢量中間玻色子理論^[3,4]. 这个理論不仅闡明了基本粒子的弱相互作用的物理机构, 而且起着选择定則的作用. 然而李和楊的六种中間玻色子理論也不能解释所有現存的实验事实^[5]. 不久以前, Takeda 运用李羣的表示論提出十二种矢量中間玻色子理論^[6], 但所引入的中間玻色子数目太多. 最近, Липманов 根据輕子分类提出^[7]: $\Delta S = -\Delta Q$ 的輕子衰变过程可能是由标量中間玻色子贡献的; 而 $\Delta S = \Delta Q$ 和 $\Delta S = 0$ 的輕子衰变过程是由矢量中間玻色子贡献的. 如果这种推测成立, 則它較 Takeda 理論为简单.

由 Липманов 理論出发, 这两类中間玻色子和弱电流的相互作用拉格朗日函数为

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{\text{int}} &= \{ig_i^S [\bar{e}(1 + \gamma_5)v_e + \bar{\mu}(1 + \gamma_5)v_\mu] + ig_N^S \bar{n}(1 + \gamma_5)\Sigma^+\}W^- + \text{h. c.}, \\ \mathcal{L}'_{\text{int}} &= [\{ig_l^V [\bar{e}\gamma_\rho(1 + \gamma_5)v_e + \bar{\mu}\gamma_\rho(1 + \gamma_5)v_\mu] + ig_N^V \bar{p}\gamma_\rho(1 + \gamma_5)\Lambda\}W_\rho^+ \\ &\quad + \text{其他項}] + \text{h. c.}. \end{aligned}$$

在上式中我們只写出 $\Delta Q \approx 0$ 的部分. $e, \mu, \nu, n, p, \Sigma^+, \Lambda, W$ 分別代表电子、 μ 介子、中微子、中子、质子、 Σ^+ 超子、 Λ 超子和中間玻色子的場算符; $g_i^S, g_l^V, g_N^S, g_N^V$ 为耦合常数.

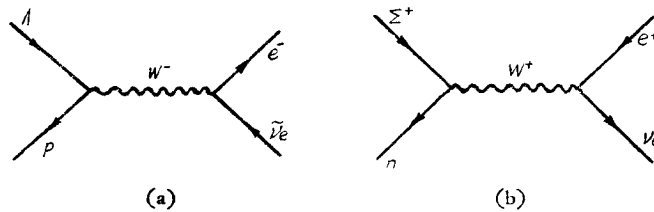


图 1

首先, 我們考虑奇异粒子的輕子衰变問題. 这种情况相应的 Feynman 图如图 1 所示. 应用微扰論得到衰变几率为

$$\omega(\Lambda \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e) = \frac{(g_l^V g_N^V)^2}{m_W^4} \times \left[\frac{m_\Lambda^2 - m_p^2}{2m_\Lambda} \right]^2 \times 0.01,$$

* 1963 年 10 月 29 日收到.

1) 中山大学物理系进修教师.

$$\omega(\Sigma^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e) = \frac{(g_i^s g_N^s)^2}{m_W^4} \times \left[\frac{m_\Sigma^2 - m_n^2}{2m_\Sigma} \right]^5 \times 0.62.$$

式中第一个过程是 $\Delta S = \Delta Q$, 第二个过程属于 $\Delta S = -\Delta Q$. 在上面的計算中, 为了簡單, 假定中間玻色子的質量为无穷大. 如果 $g_i^V g_N^V \sim g_i^S g_N^S$, 則得到

$$R = \frac{\omega(\Sigma^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e)}{\omega(\Lambda \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e)} \sim 3 \times 10^2,$$

而实验的最大上限为 $R < 1$.

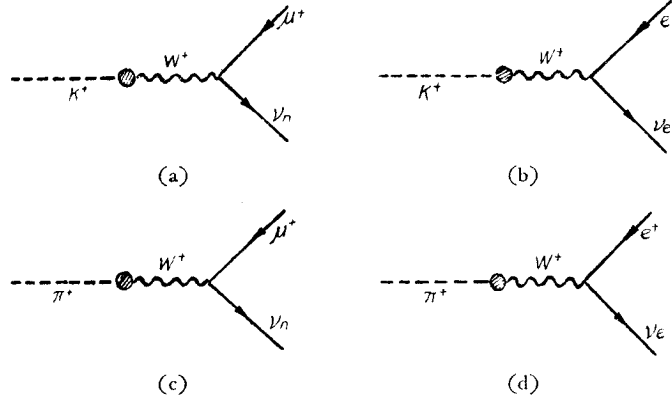


图 2

其次, 我們考虑在 $\Delta S = \Delta Q$ 和 $\Delta S = 0$ 的过程中, 标量和矢量中間玻色子同时作出贡献的情况. 为了簡單, 只討論 π^+ 介子和 K^+ 介子的輕子衰变过程. 这种过程所对应的 Feynman 图如图 2 所示. 图中 W^+ 代表矢量或标量中間玻色子. 但計算表明, 当 $g_i^V g_N^V$ 和 $g_i^S g_N^S$ 具有相同的数量級时, 矢量中間玻色子的贡献可以完全忽略. 应用微扰論得到的分支比为

$$R = \frac{\omega(K^+ \rightarrow e^+ + \nu_e)}{\omega(K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu)} = \frac{(m_K^2 - m_e^2)^2}{(m_K^2 - m_\mu^2)^2}$$

$$R = \frac{\omega(\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e)}{\omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu)} = \frac{(m_\pi^2 - m_e^2)^2}{(m_\pi^2 - m_\mu^2)^2}$$

其中 m_K, m_π, m_e, m_μ 分别代表相应粒子的質量. 理論和实验結果列于表 1 中.

表 1

	理 论 值	实 验 值
$R = \frac{\omega(K^+ \rightarrow e^+ + \nu_e)}{\omega(K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu)}$	1.1	< 0.02
$R = \frac{\omega(\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e)}{\omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu)}$	0.54	$(1.21 \pm 0.07) \times 10^{-4}$

从上面的計算結果得到下列結論: 1) 在 $\Delta S = \Delta Q$ 和 $\Delta S = 0$ 的輕子衰变过程中, 标量中間玻色子不存在. 2) 如果在 $\Delta S = -\Delta Q$ 的过程中, 允許存在标量中間玻色子, 而且耦合常数 $g_i^V g_N^V$ 和 $g_i^S g_N^S$ 具有相同的数量級, 則理論和实验矛盾. 因此, 必須放弃标量中間玻色子的推測. 3) 如果在 $\Delta S = -\Delta Q$ 的过程中, 的确存在标量中間玻色子, 則 $g_i^S g_N^S$ 至

少比 $g_i^V g_N^V$ 小一个数量级。目前已经知道 $\Delta s \approx 0$ 的重粒子流的耦合常数 $(g_N^V)^2$ 比轻子流的耦合常数 $(g_i^V)^2$ 小一个数量级, 因此, 如果假定 $g_i^S = g_N^S$, 标量和赝标量轻子流的耦合常数 $(g_i^S)^2$ 至少比矢量和赝矢量轻子流的耦合常数 $(g_i^V)^2$ 小一个数量级。

作者感谢导师胡宁教授的热情指导和关洪、杨国楨同志的有益讨论。

参 考 文 献

- [1] Feynman, Gell-Mann, *Phys. Rev.*, **109** (1958), 193.
- [2] Barbaro, et al., *Phys. Rev. Letters*, **9** (1962), 26.
- [3] Lee T. D. (李政道), Yang C. N. (杨振宁), *Phys. Rev.*, **119** (1960), 1410.
- [4] Lee T. D. (李政道), Yang C. N. (杨振宁), *Phys. Rev. Letters*, **9** (1962), 319.
- [5] Prentki, J., et al., *Phys. Letters*, **2**, (1962), 349; 杨国楨、关洪, *物理学报*, **20** (1964), 928.
- [6] Takeda, G., *Ann. Phys.*, **18** (1962), 310.
- [7] Э. М. Липманов, *ЖЭТФ*, **44** (1963), 1396.