

Λ 超子的輕子衰变

郭 碩 鴻

(物理学系)

1. 引 言

普适弱作用的形式提出之后, 必須解决 Λ 超子的輕子衰变問題。因为假如 Λ 超子、核子和輕子間存在直接的弱作用, 則衰变形式

$$\Lambda \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} \quad (1)$$

的 η 率可以直接算出。若忽略了 Λ 和 p 之間的强作用, 計算結果比实验值大一个数量級 [1]。但是由于目前观察到的事例不多, 实验結果仍不能看作是很确定的。本文用色散关系处理在这过程中强作用的影响, 結果表明它的效应是不大的。

2. 衰变矩陣元

衰变过程 (1) 的矩陣元为

$$\{ p \bar{e} \nu | S | \Lambda \} = -i(2\pi)^4 \delta(\Lambda - p - p_e - p_{\bar{\nu}}) M \quad (2)$$

$$M = \frac{f}{\sqrt{2}} \{ p | [\bar{\psi}_p \gamma_\lambda (1 + \gamma_5) \psi_\Lambda + \bar{\psi}_p \gamma_\lambda (1 + \gamma_5) \psi_\Sigma] | \Lambda \} \bar{u}_e \gamma_\lambda (1 + \gamma_5) u_{\bar{\nu}} \quad (3)$$

由协变性的考虑,

$$\begin{aligned} & \{ p | \bar{\psi}_p \gamma_\lambda \gamma_5 \psi_\Lambda + \bar{\psi}_p \gamma_\lambda \gamma_5 \psi_\Sigma | \Lambda \} \\ &= \bar{u}_p [a \gamma_\lambda \gamma_5 + i b (\Lambda - p)_\lambda \gamma_5 + b' \gamma_{\lambda\mu} (\Lambda - p)_\mu \gamma_5] u_\Lambda \end{aligned} \quad (4)$$

$$\{ p | \bar{\psi}_p \gamma_\lambda \psi_\Lambda + \bar{\psi}_p \gamma_\lambda \psi_\Sigma | \Lambda \} = \bar{u}_p [c \gamma_\lambda - d \gamma_{\lambda\mu} (\Lambda - p)_\mu - d' (\Lambda - p)_\lambda] u_\Lambda \quad (5)$$

其中

$$\gamma_{\lambda\mu} = \frac{i}{2} (\gamma_\lambda \gamma_\mu - \gamma_\mu \gamma_\lambda)$$

系数 $a, b, \dots$ 等都是 $\xi = -(\Lambda - p)^2$ 的函数。假设它們都分別滿足色散关系。令

$$J_\lambda(0) = \bar{\psi}_p(0) i \gamma_\lambda \gamma_5 \psi_\Lambda(0) + \bar{\psi}_p(0) i \gamma_\lambda \gamma_5 \psi_\Sigma(0) \quad (6)$$

考虑距陣元

$$T_\lambda = -i \{ p | J_\lambda(0) | \Lambda \} = -i \bar{u}_p \int dx e^{-ipx} \{ 0 | T(\bar{J}_p(x) J_\lambda(0)) | \Lambda \} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} T^{(+)}_\lambda &= -i \bar{u}_p \int dx e^{-ipx} \{ 0 | J_\lambda(0) \bar{J}_p(x) | \Lambda \} \\ &= -i(2\pi)^4 \Sigma \bar{u}_p \{ 0 | J_\lambda(0) | n \} \{ n | \bar{J}_p(0) | \Lambda \} \delta(\Lambda - p - p_n) \end{aligned} \quad (8)$$

$$T^{*-}_{\lambda} = -i(2\pi)^4 \Sigma \bar{u}_p \{ 0 | \bar{J}_p(0) | n \} \{ n | J_{\lambda}(0) | \Lambda \} \delta(p-p_n) = 0 \quad (9)$$

因此 T^c_{λ} 的反自厄部分为

$$A_{\lambda} = \frac{1}{2}(2\pi)^4 \Sigma \bar{v}_p \{ 0 | J_{\lambda}(0) | n \} \{ n | \bar{J}_p(0) | \Lambda \} \delta(\Lambda - p - p_n) \quad (10)$$

当 ξ 小时, 最重要的中间态为 κ 介子。假如 κ 介子与核子、超子间的耦合为赝标耦合, 它只对 $b(\xi)$ 有贡献。在 A_{λ} 中出现的矩阵元

$$\bar{u}_p \{ \kappa | \bar{J}_p(0) | \Lambda \} = \frac{1}{\sqrt{2\omega}} g_{\Lambda} \bar{v}_p i \gamma_5 u_{\Lambda} \quad (11)$$

g_{Λ} 为 κ 介子与核子、 Λ 超子的耦合常数, ω 为 κ 介子能量。另一矩阵元 $\{ 0 | J_{\lambda}(0) | n \}$ 与 κ 介子衰变过程有关。过程 $\kappa^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}$ 的矩阵元为

$$\{ \mu \bar{\nu} | S | \kappa \} = i(2\pi)^4 \delta(p_{\kappa} - p_{\mu} - p_{\bar{\nu}}) \frac{f}{\sqrt{2}} \bar{u}_{\mu} i \gamma_{\lambda} (1 + \gamma_5) u_{\bar{\nu}} \{ 0 | J_{\lambda}(0) | \kappa \} \quad (12)$$

这矩阵元也可以用等效耦合常数 F 表示出来。在 $\kappa^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}$ 中的等效相互作用哈密顿量为

$$\frac{F}{\sqrt{2}} \bar{\psi}_{\mu} i \gamma_{\lambda} (1 + \gamma_5) \psi_{\bar{\nu}} \partial_{\lambda} \varphi_{\kappa} \quad (13)$$

$$\{ \mu \bar{\nu} | S | \kappa \} = -i(2\pi)^4 \delta(p_{\kappa} - p_{\mu} - p_{\bar{\nu}}) \bar{v}_{\mu} i \gamma_{\lambda} (1 + \gamma_5) u_{\bar{\nu}} i \kappa_{\lambda} \frac{F}{\sqrt{2}} / \sqrt{2\omega} \quad (14)$$

由此

$$f \{ 0 | J_{\lambda}(0) | \kappa \} = -i \kappa_{\lambda} F(m_{\kappa}^2) / \sqrt{2\omega} \quad (15)$$

假设 $b(\xi)$ 满足色散关系

$$b(\xi) = \frac{1}{\pi} \int d\xi' \frac{Im b(\xi')}{\xi' - \xi - i\epsilon} \quad (16)$$

则由(4)、(10)、(11)和(15)式, 得到

$$f b(\xi) \equiv \frac{g_{\Lambda} F(m_{\kappa}^2)}{\xi - m_{\kappa}^2} \quad (17)$$

由 κ 介子衰变的数据, 并取 $f = 1.01 \times 10^{-5} / m_{\kappa}^2$, 得

$$F(m_{\kappa}^2) = 1.9 \times 10^{-7} / m_{\kappa} = 3.6 \times 10^{-2} f m_N \quad (18)$$

在 Λ 衰变为 $p\bar{\nu}$ 或 $p\mu\bar{\nu}$ 的情形, ξ 值数 m_{κ}^2 小, 在(17)式中可忽略 ξ , 有效赝标耦合常数在 $p\mu\bar{\nu}$ 衰变的情形为

$$\frac{f}{\sqrt{2}} m_{\mu} b(0) \approx -3.6 \times 10^{-2} \frac{m_{\mu} m_{\kappa} g_{\Lambda}}{m_{\kappa}^2} \frac{f}{\sqrt{2}} \quad (19)$$

取 $g_{\Lambda} \approx 5$, 得

$$\frac{f}{\sqrt{2}} m_{\mu} b(0) \approx -7.3 \times 10^{-2} \frac{f}{\sqrt{2}} \quad (20)$$

对于 $p\bar{\nu}$ 衰变, 有效赝标耦合的值更小。由此可知, 在 Λ 超子的轻子衰变中, 重正化效应是很小的。衰变 η 率基本上可由微扰论给出

附带讨论一点。在 $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ 衰变中, 也遇到(4)和(5)式的矩阵元[2]。这时

的 $\xi > 4m_N^2$. 在这样大的 ξ 值下, 当然只考虑 κ 态的贡献是不够的。但是可以估计重正化效应的数量级, 它应为

$$\frac{g_\Lambda F(m_\kappa^2)/\sqrt{2}}{m_N} \approx 0.2 \frac{f}{\sqrt{2}} \quad (21)$$

它也是相对地不大的。因此我们在处理这矩阵元时应用了微扰论并不影响我们得出的主要结果。

参 考 文 献

- [1] P.Nordin et. al. phys. Rev. Let. 1 (1958)380
F.S. Crawford et. al. phys. Rev. Let. 1 (1958)377
[2] 罗蓓玲、郭頌鴻 本刊发表

Leptonic Decay of Λ Hyperon

Kwo Lhe-Hung

ABSTRACT

The pseudoscalar part of the matrix element of $\Lambda \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ is calculated using dispersion relation. It is found that the correction to the perturbation matrix element is very small.