第20卷 第8期　　物 理 学 报　　Vol. 20, No. 8
1964 年 8 月　　ACTA PHYSICA SINICA　　August, 1964

关于 Λ 和 Σ 超子的衰变*

楊 国 楨
(北京大学物理系)

近来許多作者用极点近似处理了 Σ 和 Λ 超子的非輕子衰变[1-3]；文献[3]根据現有的衰变率和上下不对称参数的实驗数据，得到了四組解．因此，需进一步确定哪一組解是合理的．

此外，Cabibbo[4] 討論了么正对称性（SU_3）与弱流間的关系，从三个合理的假設出发，統一地計算了核子和超子的輕子衰变（除 $\Sigma^+ \to n + \mu^+ + \nu$ 外，这是 $\Delta S = -\Delta Q$ 的过程，本文不准备討論它），預言的理論值与实驗結果符合得很好．因此，人們自然会問：在 Σ 和 Λ 超子的非輕子衰变与重子的輕子衰变之間是否存在着联系呢？回答是肯定的，这种联系可以通过 Goldberger-Treiman 关系（后面簡称 G-T 关系）建立．它将有助于在文献[3]的四組解中确定一組合理的解．

本文的目的是用 G-T 关系和关于弱流与么正对称性关系的某些假定，建立 Σ 和 Λ 超子輕子衰变和非輕子衰变之間的联系，从而可以看到，在文献[3]的四組解中，只有第三組解可能滿足 $\Sigma^- \to n + e^- + \tilde{\nu}$ 衰变实驗数据，因此有理由認为第三組解是合理的．然后，用第三組解和类似于矢量电流守恆的假設，計算了 Σ 和 Λ 超子輕子衰变的分支比，計算結果与現有实驗結果一致．

首先我們采用文献[4]的假定：(1)弱流 $j_\mu^{(i)}$ 按照 SU_3 的 8 維不可約表示变化；(2)总的弱流 J_μ 有"統一的长度"，則有

$$J_\mu = \left[\frac{1}{2}(j_\mu^{(1)} + i\, j_\mu^{(2)})\right]\cos\theta + \left[\frac{1}{2}(j_\mu^{(4)} + i\, j_\mu^{(5)})\right]\sin\theta + hc, \tag{1}$$

上式右边第一个括弧表示 $\Delta S = 0$，$\Delta I_3 = 1$ 的弱流，第二个括弧表示 $\Delta S = \Delta Q = 1$，$\Delta I_3 = \frac{1}{2}$ 的弱流．由 $K^+ \to \mu^+ + \nu$ 和 $\pi^+ \to \mu^+ + \nu$（同样可以由 $K^+ \to \pi^0 + e^+ + \nu$ 和 $\pi^+ \to \pi^0 + e^+ + \nu$）衰变率的实驗值定得

$$\theta = 0.257.$$

根据約化矩陣元，核子和超子輕子衰变 $B \to A + e + \nu$ 的振幅的重子弱流 $j_\mu^{(i)}$ 部分可以表示成下列形式：

$$\langle A | j_\mu^{(i)} | B \rangle = i\, f_{ABi}\, O_\mu + d_{ABi}\, E_\mu, \tag{2}$$

这里的系数 f 和 d 見文献[5]；O_μ 和 E_μ 是約化矩陣元，包含矢量和贗矢量两部分：

$$O_\mu,\ E_\mu = F^{0,E}\gamma_\mu + H^{0,E}\gamma_\mu\gamma_5. \tag{3}$$

因此只要用四个参数（F^0, F^E, H^0 和 H^E）就能够决定全部重子的輕子衰变．

用(1)和(2)式，可以把重子弱流矩陣元写成明显的形式：

* 1963 年 12 月 9 日收到．

$$\langle p|J_\mu|n\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(O+E)\cos\theta, \tag{4}$$

$$\langle \Lambda|J_\mu|\Sigma^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}E\cos\theta, \tag{5}$$

$$\langle p|J_\mu|\Lambda\rangle = -\left(\frac{\sqrt{3}}{2}O + \frac{1}{2\sqrt{3}}E\right)\sin\theta, \tag{6}$$

$$\langle n|J_\mu|\Sigma^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(-O+E)\sin\theta. \tag{7}$$

下面先来决定 H^0 和 H^E. 我們应用中間态为 π 介子(簡称 π 介子)的 G-T 关系[5],得

$$G_A^{\Sigma\Lambda} = \frac{2\,m_N}{m_\Lambda + m_\Sigma}\cdot\frac{g_{\Sigma\Lambda\pi}}{g_{NN\pi}}\cdot G_A^{np}, \tag{8}$$

其中 G_A 为重子的輕子衰变的贋矢量作用常数; m 为質量; g 为重子和 π 介子贋标作用常数. 这里我們仅仅用到 π 介子的 G-T 关系. 有些作者除了用 π 介子的 G-T 关系外,还用 K 介子的 G-T 关系,借助于 π 和 K 介子的有效弱作用常数之比以及它們与重子的强作用常数之比,求得 G_A. 这种做法在定量上是不可靠的[5].

由(5)式得

$$G_A^{\Sigma\Lambda} = \frac{1}{\sqrt{3}}H^E\cos\theta. \tag{9}$$

由(4)式得

$$G_A^{np} = \frac{1}{\sqrt{2}}(H^0+H^E)\cos\theta. \tag{10}$$

从(8),(9)和(10)式,利用 G_A^{np} 的实驗值($G_A^{np}\cos\theta = 1.25$)和文献[3]的 $g_{\Sigma\Lambda\pi}/g_{NN\pi}$ 值,可以定得 H^E 和 H^0; 再根据所得到的 H^E 和 H^0 值,代入(7)式,計算 $\Sigma^- \to n + e^- + \tilde{\nu}$ 分支比(仅仅考虑贋矢量項的貢献),結果如下:

表 1

	$g_{\Sigma\Lambda\pi}/g_{NN\pi}$	分支比 ($\times 10^{-3}$)	$g_{\Sigma\Lambda\pi}/g_{NN\pi}$	分支比 ($\times 10^{-3}$)
解 (i)	1.33	12.0	−1.33	58.2
解 (ii)	−1.20	50.4	1.20	8.55
解 (iii)	0.71	0.755	−0.71	28.5
解 (iv)	−0.947	36.3	0.947	3.43

表 1 中的 $g_{\Sigma\Lambda\pi}/g_{NN\pi}$ 值見文献[3]. 容易发現,在表 1 的四組解中,只有第三組解 ($g_{\Sigma\Lambda\pi}/g_{NN\pi} = 0.71$) 有可能得到正确的結果,即理論值不大于实驗值 $(1.9\pm0.9)\times10^{-3}$[7] (完整地計算分支比,应該考虑贋矢量和矢量两部分的貢献,在仅仅考虑贋矢量貢献的情况下,理論值应不大于实驗值,否則理論結果是不正确的). 至于另外三組解,在仅仅考虑贋矢量項貢献的情况下,所得的理論值已經大于或远大于实驗值. 由此可見: 在文献[3]的四組解中,只有第三組解可能是合理的.

值得指出，第三組解的选取，表明 $\Sigma^+ \to n + \pi^+$ 通过 s 波和 $\Sigma^- \to n + \pi^-$ 通过 p 波衰变.

以下我們再假設：$j_\mu^{(i)}$ 的矢量部分在 SU_3 下和电磁电流同样地变化（对于 $\Delta S = 0$ 的衰变过程，这假設等价于矢量电流守恆）. 因此我們有

$$F^0 = 0, \quad F^E = \sqrt{2}\, G. \tag{11}$$

同时从(8)，(9)和(10)式求得 H^E 和 H^0:

$$H^0 = 0.515G, \quad H^E = 1.25G. \tag{12}$$

用(11)和(12)式的 F 和 G 值，并从(5)—(7)式出发，能够預言，$\Sigma^- \to \Lambda + e^- + \tilde{\nu}$，$\Lambda \to p + e^- + \tilde{\nu}$ 和 $\Sigma^- \to n + e^- + \tilde{\nu}$ 衰变的分支比. 比較理論值与实驗結果，列如表 2.

表　2

	理　論　值[1)]	实　驗　值
$\Sigma^- \to \Lambda + e^- + \tilde{\nu}$	0.83×10^{-4}	$\left(0.9{+0.5 \atop -0.4}\right)\times10^{-4}$[7]
$\Lambda \to p + e^- + \tilde{\nu}$	0.83×10^{-3}	$(0.85\pm0.3)\times10^{-3}$[6]
$\Sigma^- \to n + e^- + \tilde{\nu}$	1.8×10^{-3}	$(1.9\ \pm0.9)\times10^{-3}$[7]

1) 我們采用普适 V-A 理論的分支比如下：$\Sigma^- \to \Lambda + e^- + \tilde{\nu}$ 为 1.7×10^{-4}，$\Lambda \to p + e^- + \tilde{\nu}$ 为 1.5%，$\Sigma^- \to n + e^- + \tilde{\nu}$ 为 5.8% [見 Окунь, Л., Лекции по теории слабых взаимодействий элементарных частиц(1961)].

从表 2 可以看到，理論值与实驗值符合得很好，因而进一步証实了选取文献[3]中第三組解的合理性.

从上面全部討論中我們得出如下結論：利用文献[3]的第三組解（仅仅只有第三組解具有这样的性质，从而我們认为第三組解是四組解中唯一合理的解），中間态为 π 介子的 G-T关系，以及文献[4]中关于弱流的三个假定，不仅可以解释 Σ 和 Λ 超子非輕子衰变的实驗数据，而且还可以正确地預言 Σ 和 Λ 超子輕子衰变的分支比.

最后，作者深切地感謝导师胡宁教授对本工作的指导，并感謝关洪同志对本工作的許多有益的討論.

参　考　文　献

[1] Singh, V. and Udgaonkar, M., *Phys. Rev.*, **126** (1962), 2248.
[2] Gupta, S. N., *Phys. Rev.*, **130** (1963), 1180.
[3] Pati, J. C., *Phys. Rev.*, **130** (1963), 2097.
[4] Cabibbo, N., *Phys. Rev. Letters*, **10** (1963), 531.
[5] Gell-Mann, M., *Phys. Rev.*, **125** (1962), 1067.
[6] Ely, R. P., et al., Proceedings of the International Conference on High-Energy Nuclear Physics, Geneva (1962), p. 445.
[7] Willis, W., et al., *Bull. Am. Phys. Soc.*, 8 (1963), 349.