

# $e^+e^-$ 湮没中 $L=1$ 激发态重子的产生比例\*

王 群 谢去病<sup>1)</sup>

(山东大学物理系, 济南 250100)

1993年8月16日收到

## 摘 要

用一个简化模型概括的低激发态重子主要衰变分支比和我们在文献 [2] 中给出的基本关系, 得出  $L=1$  激发态重子对  $\Sigma^+(1385)$ ,  $\Sigma^+$ ,  $\Xi^0(1530)$  和  $\Xi^0$  的衰变贡献, 进而用  $\Upsilon$  共振能量下的实验值  $R_1 = \Xi(1530)/\Xi$ ,  $R_2 = \Sigma(1385)/\Sigma$  和  $R_3 = \Lambda(1520)/\Sigma(1385)$  作输入, 估算了  $L=1$  的各激发态重子的产生比例.

**关键词** 强子化, 自旋抑制, 味道守恒, 激发态重子.

## 1 引 言

至今所有的碎裂模型都不考虑激发态重子的产生可能, 但从 ARGUS 组最近首次测量到的  $\Lambda(1520)$  的高产额<sup>[1]</sup>来看, 激发态重子的产生不能被忽略.

文献 [2] 导出的基本关系使我们能通过输入适当实验值来确定各  $SU_3(3)$  激发态重子的产生比例. 由于产生的激发态重子主要是低激发态, 作为一级近似, 在所有激发态重子都是最低激发态  $L=1$  重子的假定下, 本文研究了十重态, 八重态及单态最低激发态  $L=1$  重子的产生.

要得到  $L=1$  激发态重子的产生比例, 必须知道各种  $L=1$  重子对基态重子的衰变贡献, 因至今 PDG<sup>[3]</sup> 给出的激发态重子衰变分支比很少, 所以第 2 节给出一个  $L=1$  重子的简化衰变模型, 大致概括  $L=1$  激发态重子主要衰变道及其分支比, 第 3 节利用它们计算出  $L=1$  激发态重子对  $\Sigma^+(1385)$ ,  $\Sigma^+$ ,  $\Xi^0(1530)$  和  $\Xi^0$  的衰变贡献, 进而输入  $\Upsilon^{0\pi}$  能量的实验值  $R_1 = \Xi(1530)/\Xi$ ,  $R_2 = \Sigma(1385)/\Sigma$  和  $R_3 = \Lambda(1520)/\Sigma(1385)$  来确定各  $SU_3(3)$  多重态激发态重子的产生比例.

同文献 [2] 一样, 把十重态基态重子和八重态基态重子分别记作 10 和 8, 十重态和八重态激发态记作  $10'$  和  $8'$ , 单态都是激发态, 记作  $1'$ , 其相应的产生权重记为  $P_{10}$ ,  $P_8$ ,  $P_{10'}$ ,  $P_{8'}$ ,  $P_{1'}$ ; 并将  $8'$ ,  $10'$  和  $\Lambda(1520)$  占全部八重态重子, 十重态重子和单态重子的产生比例分别记作  $x_{8'} = P_{8'}/(P_{8'}+P_8)$ ,  $x_{10'} = P_{10'}/(P_{10'}+P_{10})$  和  $x_{\Lambda(1520)} = P_{\Lambda(1520)}/P_{1'}$ .

\* 国家自然科学基金资助.

1) 中国科学院理论物理所客座.

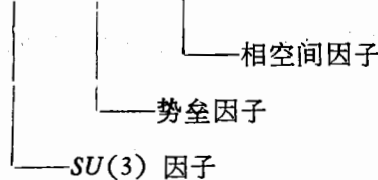
## 2 对 $L=1$ 激发态重子衰变的简化处理

迄今对激发态重子衰变的实验研究仍很初步,即使低激发态重子,其衰变分支比的资料也不全且不精确,特别是带有奇异夸克的低激发态重子,其衰变道及分支比所知更少,给估算  $L=1$  重子对基态重子的衰变贡献带来困难。但我们仍可以从 PDG<sup>[3]</sup> 中总结出一些特点,对  $L=1$  重子的衰变进行简化处理以概括它们的衰变分支比:首先,其大部分衰变道是  $SU_f(3)$  允许的两体衰变或准两体衰变;其次,它们主要衰变为 8 重子或 10 重子加一个  $0^-$  介子,衰变为  $1^-$  介子的分支比很小,可忽略;最后,对含有相同数目奇异夸克的  $L=1$  的  $8'$  重子和  $10'$  重子,其质量相近。

根据上述特点,我们可以概括一个计算  $L=1$  重子衰变分支比的简化模型。

对于  $SU_f(3)$  允许的两体衰变  $X \rightarrow Y + Z$ , 其衰变宽度和衰变分支比分别是(详见文献[4]),

$$\Gamma_{YZ}^X = \|A_{YZ}^X\|^2 (p/m)^{2l} (p/m) M \quad (1)$$



$$f_{YZ}^X = \Gamma_{YZ}^X / \Gamma_{tot} = \Gamma_{YZ}^X / \sum_{Y,Z} \Gamma_{YZ}^X \quad (2)$$

其中  $X$  是  $L=1$  的  $8'$  和  $10'$  重子,  $Y$  是 8 或 10 重子,  $Z$  是  $0^-$  介子,  $A_{YZ}^X$  是  $SU_f(3)$  对称因子,  $m$  是衰变母粒子的质量,  $p$  是衰变产物的动量,  $M$  是一个自由参数 ( $\sim 1\text{GeV}$ )。对  $L=1$  重子我们可对(1)和(2)式作两点简化。

(1) 只考虑  $SU_f(3)$  对称因子和相空间因子而忽略势垒因子。因  $L=1$  重子是负宇称,它们衰变为基态重子和  $0^-$  介子,从宇称守恒可得  $l=0, 2, 4, \dots$ , 而高阶分波的贡献是次要的,正如 PDG 所列出的少数衰变道,其分波大都是  $s$  和  $d$  波,更高阶的分波几乎不出现。忽略势垒因子相当于只考虑  $l=0$  的最低阶近似。

(2) 把带有相同数目  $s$  夸克的  $L=1$  的  $8'$  和  $10'$  重子的质量取成相等,这来源于本节开始引述的实验特点。实际上,在最低阶近似下,重子的质量谱可看成两个非耦合三维谐振子的激发谱。并可表示为  $M = M_0 + \omega N$ ,  $N$  是主量子数,  $N = 2(n_\lambda + n_\rho) + l_\lambda + l_\rho$ <sup>[5]</sup>, 其中  $L = l_\lambda + l_\rho$  是轨道激发量子数,  $n_\lambda$  和  $n_\rho$  是径向激发量子数,  $M_0 = m_1 + m_2 + m_3 + \text{const.}$ ,  $m_i$  是三个结构夸克的质量。在忽略非谐效应和  $LS$  耦合等高阶修正下,含有相同数目  $s$  夸克的  $N=L=1$  重子的质量是简并的,我们取  $m_s - m_u = 150\text{MeV}$ ,  $m_{\Delta', N'} = 1607\text{MeV}$ <sup>[5]</sup>, 则  $m_{\Delta'}, m_{\Sigma'}, m_{\Xi'}, m_{\Omega}'$  的取值列在表 1, 它们与 PDG 实验值相近。

经过这些近似之后,我们就得到  $8'$  和  $10'$  重子分别衰变为  $SU_f(3)$  允许的 8 重子和 10 重子的衰变道及其分支比。结果列在表 2a 和表 2b 中。其中  $f_i$  和  $f_i'$  分别表示某种  $8'$  和  $10'$  重子  $i$  衰变到 8 重子的权重。但注意这里  $i$  重子是不同的  $J$  的  $8'$  或  $10'$  重子所简并的

表 1  $L=1$  激发态重子(即 $(70, 1^-)$ 组态)的近似平均质量

|                       |                |                |               |                |
|-----------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| 8' 重子                 | $N'$           | $\Lambda_{8'}$ | $\Sigma_{8'}$ | $\Xi_{8'}$     |
| $\bar{m}(\text{MeV})$ | 1607           | 1757           | 1757          | 1907           |
| 10' 重子                | $\Delta_{10'}$ | $\Sigma_{10'}$ | $\Xi_{10'}$   | $\Omega_{10'}$ |
| $\bar{m}(\text{MeV})$ | 1607           | 1757           | 1907          | 2057           |

有效重子, 其衰变分支比可看成这些重子的平均。这样大大简化了  $L=1$  重子衰变贡献的计算。

表 2a  $L=1$  的 8' 重子衰变为 8 和 10 重子的平均衰变分支比

| $i \rightarrow B_8 P$               | 分支比/ $f_i$ | $i \rightarrow B_{10} P$                   | 分支比/ $(1 - f_i)$ |
|-------------------------------------|------------|--|------------------|
| $N' \rightarrow N\pi$               | 0.987      | $N' \rightarrow \Delta(1232)\pi$           | 1.0              |
| $\rightarrow \Delta K$              | 0.013      |  |                  |
| $\Lambda_{8'} \rightarrow NK$       | 0.337      | $\Lambda_{8'} \rightarrow \Sigma(1385)\pi$ | 1.0              |
| $\rightarrow \Sigma\pi$             | 0.554      |  |                  |
| $\rightarrow \Lambda\eta$           | 0.109      |  |                  |
| $\Sigma_{8'} \rightarrow \Sigma\pi$ | 0.475      | $\Sigma_{8'} \rightarrow \Sigma(1385)\pi$  | 0.333            |
| $\rightarrow \Lambda\pi$            | 0.161      | $\rightarrow \Delta(1232)K$                | 0.667            |
| $\rightarrow NK$                    | 0.365      |  |                  |
| $\Xi_{8'} \rightarrow \Xi\pi$       | 0.492      | $\Xi_{8'} \rightarrow \Sigma(1385)K$       | 0.31             |
| $\rightarrow \Lambda K$             | 0.174      | $\rightarrow \Xi(1530)\pi$                 | 0.69             |
| $\rightarrow \Sigma K$              | 0.333      |  |                  |

表 2b  $L=1$  的 10' 重子衰变为 8 和 10 重子的平均衰变分支比

| $i \rightarrow B_8 P$          | 分支比/ $f_i'$ | $i \rightarrow B_{10} P$                   | 分支比/ $(1 - f_i')$ |
|--------------------------------|-------------|--|-------------------|
| $\Delta' \rightarrow N\pi$     | 1.0         | $\Delta' \rightarrow \Delta(1232)\pi$      | 1.0               |
| $\Sigma_{10'} \rightarrow NK$  | 0.26        | $\Sigma_{10'} \rightarrow \Sigma(1385)\pi$ | 0.67              |
| $\rightarrow \Sigma\pi$        | 0.33        | $\rightarrow \Delta(1232)K$                | 0.33              |
| $\rightarrow \Lambda\pi$       | 0.407       |  |                   |
| $\Xi_{10'} \rightarrow \Xi\pi$ | 0.43        | $\Xi_{10'} \rightarrow \Sigma(1385)K$      | 0.638             |
| $\rightarrow \Lambda K$        | 0.307       | $\rightarrow \Xi(1530)\pi$                 | 0.362             |
| $\rightarrow \Sigma K$         | 0.262       |  |                   |
| $\Omega' \rightarrow \Xi K$    | 1.0         | $\Omega' \rightarrow \Xi(1530)K$           | 1.0               |

### 3 $L=1$ 各多重态重子的产生比例

用上节简化模型给出的平均衰变贡献(表 2a 和表 2b)可以确定  $L=1$  各  $SU_3(3)$  多重态重子的产生比例。为不使问题过于复杂, 考虑一种简单的平均情况, 即假设各种奇异 8' 重子或奇异 10' 重子衰变为 8 重子的权重相等, 即  $f_i = f(i = \Sigma_{8'}, \Lambda_{8'}, \Xi_{8'})$  和  $f_i' = f'(i = \Sigma_{10'}, \Xi_{10'}, \Omega')$ , 这里, 我们没有对  $f_{\Delta'}$  和  $f_{N'}$  作假定, 因为根据表 2a 和 2b,  $\Delta'$  和  $N'$  都不衰变到  $\Xi(1530)$ ,  $\Xi$ ,  $\Sigma(1385)$  和  $\Sigma$ , 所以  $f_{\Delta'}$  和  $f_{N'}$  对结果无影响。这样虽然很粗糙, 但能大大减少待定参量的数目, 利用现有的很少的实验信息得出最后结果; 另一方面,

也能通过  $f$  和  $f'$  近似反映出  $x_{8'}, x_{10'}$  和  $x_{\Lambda(1520)}$  对  $8'$  和  $10'$  衰变贡献的依赖。

对于  $8$  重子  $\Xi$  和  $\Sigma$ , 考虑所有  $L=1$  重子的衰变贡献后, 其产生权重为

$$\begin{aligned}
 W_{B=\Xi, \Sigma} = & P_8 \lambda' + P_{10} \sum_{a \in 10} \lambda'^a B_r(a \rightarrow B) \\
 & + f P_{8'} \left[ \sum_{a' \in 8'} \lambda'^{a'} \bar{B}_r(a' \rightarrow B) \right. \\
 & \left. + \sum_{a' \in 8', a \in 10} \lambda'^{a'} \bar{B}_r(a' \rightarrow a) B_r(a \rightarrow B) \right] \\
 & + f' P_{10'} \left[ \sum_{a' \in 10'} \lambda'^{a'} \bar{B}_r(a' \rightarrow B) \right. \\
 & \left. + \sum_{a' \in 10', a \in 10} \lambda'^{a'} \bar{B}_r(a' \rightarrow a) B_r(a \rightarrow B) \right] \\
 & + P_{1'} \sum_{a' \in 1'} \lambda'^{a'} \bar{B}_r(a' \rightarrow B) \quad (3)
 \end{aligned}$$

对于  $10$  重子  $\Xi(1530)$  和  $\Sigma(1385)$ , 权重为,

$$\begin{aligned}
 W_{B=\Xi(1530), \Sigma(1385)} = & P_{10} \lambda' + (1-f) P_{8'} \sum_{a' \in 8'} \lambda'^{a'} \bar{B}_r(a' \rightarrow B) \\
 & + (1-f') P_{10'} \sum_{a' \in 10'} \lambda'^{a'} \bar{B}_r(a' \rightarrow B) \quad (4)
 \end{aligned}$$

式中  $r$  分别是  $\Sigma$  和  $\Sigma(1385)$ ,  $\Xi$  和  $\Xi(1530)$  或  $\Lambda(1520)$  包含的奇异夸克数。  $a$  指某种味道的  $10$  和  $8$  重子,  $r_a$  是它所包含的  $s$  夸克的数目。  $a'$  指某种  $L=1$  重子,  $r_{a'}$  是它所包含的奇异夸克的数目。  $\sum_{a' \in 8'}$  是对  $L=1$  各种不同味道的  $8'$  重子求和, 对它求和号也作类似的理解,  $B_r$  是 PDG<sup>[3]</sup> 给出的衰变分支比,  $\bar{B}_r$  为上节得出的平均衰变分支比(见表 2a 和 2b)。

对于  $\Lambda(1520)$ , 其权重则为,  $W_{\Lambda(1520)} = x_{\Lambda(1520)} P_{1'} \lambda$  (5)

令  $\Xi$  和  $\Xi(1530)$ ,  $\Sigma(1385)$  和  $\Sigma, \Lambda(1520)$  和  $\Sigma(1385)$  的权重之比为,

$$\begin{cases} R_1 = W_{\Xi(1530)} / W_{\Xi} \\ R_2 = W_{\Sigma(1385)} / W_{\Sigma} \\ R_3 = W_{\Lambda(1520)} / W_{\Sigma(1385)} \end{cases} \quad (6)$$

因为 ARGUS 组在  $\Upsilon$  共振能区系统研究了重子的产生, 首次给出了  $\Lambda(1520)$  的产额; 另外,  $\Upsilon^{0n}$  的数据没有连续区各种  $c, b$  粒子的产生和衰变的不确定性, 用 ARGUS 组在  $\Upsilon$  共振能量 ( $\Upsilon^{0n}$ ) 的实验值<sup>[4]</sup> 作为输入,

$$\begin{cases} R_{1,\text{exp}} = 0.232 \pm 0.057 \pm 0.035 \\ R_{2,\text{exp}} = 0.275 \pm 0.090 \pm 0.065 \\ R_{3,\text{exp}} = 0.92 \pm 0.21 \pm 0.16 \end{cases} \quad (7)$$

将(7)代入(6)式左方, 利用基本关系, 令  $\lambda = 0.3$ , 将(6)式右方的  $10$  与  $8$  重子理论产额表示出来, 化简得,

$$\begin{cases} \frac{1}{0.232} = 1 + \frac{2.1 + (0.492f - 1)\rho + (2 + 0.58f')\sigma}{1 + 0.69(1 - f)\rho + 0.512(1 - f')\sigma} \\ \frac{1}{0.275} = 0.12 + \frac{2.16 + (0.856f - 1.126)\rho + (2.19 + 0.52f')\sigma}{1 + 0.72(1 - f)\rho + 0.8(1 - f')\sigma} \\ 0.92 = \frac{x_{\Lambda(1520)}(1 + \sigma)}{1 + 0.72(1 - f)\rho + 0.8(1 - f')\sigma} \end{cases} \quad (8)$$

其中  $\sigma \equiv P_{10'}/P_{10}$ ,  $\rho \equiv P_{8'}/P_{10}$ , 所以  $x_{8'} = \rho/(2 + 2\sigma)$ ,  $x_{10'} = \sigma/(1 + \sigma)$ ,  $x_{\Lambda(1520)}$  是  $\Lambda(1520)$  占全部  $L=1$  单态重子的产生比例。进一步化简(8)式得,

$$\begin{cases} 1.21 = (2.772f - 3.28)\rho + (2.274f' + 0.306)\sigma \\ 1.36 = (3.39f - 3.66)\rho + (3.33f' - 0.623)\sigma \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{和} \quad x_{\Lambda(1520)} = 0.92(1 + 0.72(1 - f)\rho + 0.8(1 - f')\sigma)/(1 + \sigma) \quad (10)$$

因  $L=1$  的  $1'$  重子只有  $\Lambda(1520)$  和  $\Lambda(1405)$ , 所以由(10)式和  $\Lambda(1520)$  的产额  $n_{\Lambda(1520)}$  可以得出  $\Lambda(1405)$  的产额  $n_{\Lambda(1405)}$ ,

$$n_{\Lambda(1405)} = n_{\Lambda(1520)}(1 - x_{\Lambda(1520)})$$

从(9)式可解出  $\sigma$  和  $\rho$ , 它们都是  $f, f'$  的函数。因  $\sigma$  和  $\rho$  必须大于零, 由此得到, 当  $f < 0.5$  或  $f' < 0.4$  时, (9)式无解。而当  $0.4 \leq f' \leq 0.7$  或  $0.5 \leq f \leq 0.7$  时, 只有当  $f$  或  $f'$  接近 1 时, (9)式才有解。它表明只有  $L=1$  的奇异  $8'$  和  $10'$  重子主要衰变为 8 重子时, 理论上才是合理的。这一断言也与已有的  $L=1$  奇异重子衰变信息一致<sup>[3]</sup>。

表 3 列出了  $f, f' \geq 0.7$  时, 不同  $f, f'$  组合下算出的  $x_{8'}$ ,  $x_{10'}$  和  $x_{\Lambda(1520)}$  及  $\Lambda(1405)$  的产额  $n_{\Lambda(1405)}$  的值, 表明它们灵敏依赖于反映总衰变分支比的  $f$  和  $f'$ 。

表 3  $x_{8'}$ ,  $x_{10'}$  和  $x_{\Lambda(1520)}$  及  $\Lambda(1405)$  的产额  $n_{\Lambda(1405)}$

| $f' \backslash f$ | 0.7    | 0.8    | 0.9    | 1.0    |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| 0.7               | 0.0    | 0.82   | 0.50   | 0.36   |
|                   | 0.0    | 0.95   | 0.64   | 0.51   |
|                   | 0.92   | 0.47   | 0.54   | 0.57   |
|                   | 0.001  | 0.013  | 0.0099 | 0.0088 |
| 0.8               | 0.0    | 0.47   | 0.33   | 0.25   |
|                   | 0.0    | 0.66   | 0.52   | 0.44   |
|                   | 0.92   | 0.53   | 0.56   | 0.58   |
|                   | 0.001  | 0.010  | 0.0089 | 0.0083 |
| 0.9               | 0.39   | 0.28   | 0.21   | 0.18   |
|                   | 0.63   | 0.51   | 0.43   | 0.39   |
|                   | 0.54   | 0.57   | 0.58   | 0.59   |
|                   | 0.0098 | 0.0088 | 0.0083 | 0.008  |
| 1.0               | 0.21   | 0.16   | 0.13   | 0.11   |
|                   | 0.46   | 0.41   | 0.37   | 0.35   |
|                   | 0.58   | 0.59   | 0.59   | 0.60   |
|                   | 0.0085 | 0.0081 | 0.0079 | 0.0077 |

## 4 总 结

本文是文献[2]一文的应用,[2]中根据强子化过程味道守恒要求讨论了强子  $SU_f(3)$  对称与重子的随机组合产生机制的一致性,导出了重子产生权重的两个基本关系,它反映了在随机组合框架下强子化过程的一个普遍规律,应该不仅适用于  $e^+e^-$  反应,也适用于  $hh$  及  $lh$  反应。

基本关系使我们有可能利用激发态重子衰变规律及部分产额的实验值确定各种  $SU_f(3)$  激发态重子的产生比例.由于迄今实验未提供足够的激发态重子衰变信息,我们不得不在只考虑最低激发态的条件下对其衰变作了简化近似,估算了八重态,十重态和  $L=1$  激发态及单态重子  $\Lambda(1520)$  的产生比例.所得结果仍有较大的不确定性,但本文给出的方法是普适的,只要实验给出更多激发态重子的衰变信息,就能改进结果.因为实验测量  $\Lambda(1405)$  的产额较容易,给出了  $Y^{0n}$  能量下  $\Lambda(1405)$  的产额以待实验检验。

## 参 考 文 献

- [1] ARGUS Collab., H. Albrecht et al., *Z. Phys.*, **C39** (1988) 177; *Phys. Lett.*, **B215**(1988)429.
- [2] 王群、谢去病,高能物理与核物理, **18**(1994)702
- [3] Particle Data Group, *Phys. Lett.*, **B239**(1990).
- [4] N. P. Samles, M. Goldberg and B. T. Meadows, *Rev. Mod. Phys.*, **46**(1974)49.
- [5] D. Flamm and F. Schoberl, Introduction to the Quark Model of Elementary Particles, Vol 1, Gordon & Breach Science Publishers, Inc. New York, 1982. p.246.

## Production Percentages of $L=1$ Excited Baryons in $e^+e^-$ Annihilation

Wang Qun Xie Qubing

(Physics Department, Shandong University, Jinan 250100)

Received on August 16, 1993

### Abstract

We use a simple decay model of low excited baryon states to evaluate the decay contributions of these states to the  $(1/2)^+$  and  $(3/2)^+$  baryons. we further input the experiment values  $R_1 = \Xi(1530)/\Xi$ ,  $R_2 = \Sigma(1385)/\Sigma$  and  $R_3 = \Lambda(1520)/\Sigma(1385)$  at  $\gamma$  on c.m. energy and use the basic relations derived in the precious paper to determine the total production rates of the low excited baryons of various  $SU_f(3)$  multiplets.

**Key words** hadronization, spin suppression, flavor conservation, excited baryon.