

第七节 强子的命名规则

一、强相互作用基本自由度——六味夸克（费米子，各三色）和胶子（八种颜色）

夸克味道	同位旋(I)	同位旋三分量	奇异数(S)	粲数(C)	底数(B)	顶数(T)	电荷(Q)	重子数(b)	组分质量
u	$1/2$	$1/2$	0	0	0	0	$2/3$	$1/3$	~ 310
d	$1/2$	$-1/2$	0	0	0	0	$-1/3$	$1/3$	~ 310
s	0	0	-1	0	0	0	$-1/3$	$1/3$	~ 500
c	0	0	0	1	0	0	$2/3$	$1/3$	~ 1600
b	0	0	0	0	-1	0	$-1/3$	$1/3$	~ 4600
t	0	0	0	0	0	1	$2/3$	$1/3$	175000

它们全都满足Gell-Mann-Okubo关系

$$Q = I_3 + \frac{1}{2}(b + S + C + B + T)$$

- 夸克自旋为 $1/2$ ；胶子自旋为 1 ，质量为 0 。
- 夸克和胶子都携带色荷（夸克属颜色**SU(3)** 的基础表示，胶子属伴随表示。
- 根据量子色动力学，夸克和胶子都可能构成束缚态——颜色单态的强子。

二、正反夸克构成的色单态强子体统——介子

1. 夸克模型允许的介子量子数

正如 u, d, s 组成的强子可以用味道**SU(3)** 对称性描述，考虑 c, b 夸克后，则味道对称性可以扩充到**SU(5)**（当然这个对称性已经很难称为对称性，因为这5味夸克的质量相差好几个数量级，但强子分类可以按照**SU(5)** 味道对称性的不可约表示进行）； J^{PC}

约定：同一个味道超多重态的自旋、宇称、C变换因子相同，也就是说同一个超多重态中的粒子具有相同的

因此暂时忘掉夸克的味道，介子是由正反夸克组成的。

夸克是自旋为 $1/2$ 的费米子，正反夸克的总自旋**S**只能为 $0, 1$ ；如果正反夸克间的轨道角动量为**L**，则 $P = (-)^{L+1}, C = (-)^{L+S}$ 。

正反夸克系统的可能的 J^P 为,

$L \backslash S$	0	1		
0	0^{-+}	1^{--}		
1	1^{+-}	0^{++}	1^{++}	2^{++}
2	2^{-+}	1^{--}	2^{--}	3^{--}
3	3^{+-}	2^{++}	3^{++}	4^{++}

1. 如果介子态是G字称的本征态，则也有相应的G字称；
2. 如果介子确实是由夸克构成的，那么轨道角动量为零的态应该是能量最低的态，即**赝标介子和矢量介子是介子的基态**。
3. 试验上发现的粒子的质量关系定型满足上述的特征。这也是对介子是由正反费米子组成的系统的重要支持。
4. 不同的轨道角动量可以给出相同的介子的自旋宇称量子数，说明介子态中可能有混合。通过衰变分波可以帮助确定介子态的轨道角动量。

2. 介子的命名规则

a) 普通介子 ($S=0=B=0$) 普通介子也是G变换的本征态，有确定的G宇称，

$$P = (-)^{L+1}, C = (-)^{L+S}, G = (-)^I C$$

J^{PC}	$(0, 2, 4, \dots)^{-+}$	$(1, 2, 3, \dots)^{--}$	$(0, 1, 2, \dots)^{++}$	$(1, 3, 5, \dots)^{+-}$
$2S+1L_J$	$^1(S, D, \dots)_J$	$^3(S, D, \dots)_J$	$^3(P, F, \dots)_J$	$^1(P, F, \dots)_J$
$u\bar{d}, (u\bar{u} - d\bar{d}), d\bar{u}$ $(I = 1)$	$\pi_{(0), 2, 4, \dots}$	$\rho_{(1), 2, 3}$	$a_{0, 1, 2}$	$b_{1, 3, 5, \dots}$
$(u\bar{u} + d\bar{d}), s\bar{s}$ $(I = 0)$	$\eta(\eta'), \eta_{2, 4, \dots}$	$\omega_{(1), 2, 3}, \phi_{(1), 2, 3}$	$f_{0, 1, 2}, f'_{1, 2}$	$h_{1, 3}, h'$
$c\bar{c}(I = 0)$	η_c, η_{c2}, \dots	$\psi_{(1), 2, 3}$	$\chi_{c0, 1, 2}$	h_c
$b\bar{b}(I = 0)$	η_b, η_{b2}, \dots	$\Upsilon, \Upsilon', \dots$	$\chi_{b0, 1, 2}$	h_b

b) S, C, B不为零的介子

命名的基本规则是：介子的味道数（S, C, B）和介子的电荷符号相同。

$$S = +1: K^+, K^0, K^{*+}, K^{*0}; \quad (\text{包含一个反奇异夸克})$$

$$S = -1: K^-, \bar{K}^0, K^{*-}, \bar{K}^{*0}; \quad (\text{包含一个奇异夸克})$$

$$C = +1: D^+, D^0, D^{*+}, D^{*0}; \quad (\text{包含一个粲夸克})$$

$$C = -1: D^-, \bar{D}^0, D^{*-}, \bar{D}^{*0}; \quad (\text{包含一个反粲夸克})$$

$$B = +1: B^+, B^0, B^{*+}, B^{*0}; \quad (\text{包含一个反底夸克})$$

$$B = -1: B^-, \bar{B}^0, B^{*-}, \bar{B}^{*0}; \quad (\text{包含一个底夸克})$$

$$C = +1, S = +1: D_s^+(c\bar{s}), D_s^{*+}(c\bar{s});$$

$$C = -1, S = -1: D_s^-(\bar{c}s), D_s^{*-}(\bar{c}s);$$

$$B = +1, C = +1: B_c^+(c\bar{b}), B_c^{*+}(c\bar{b});$$

$$B = -1, C = -1: B_c^-(\bar{c}b), B_c^{*-}(\bar{c}b);$$

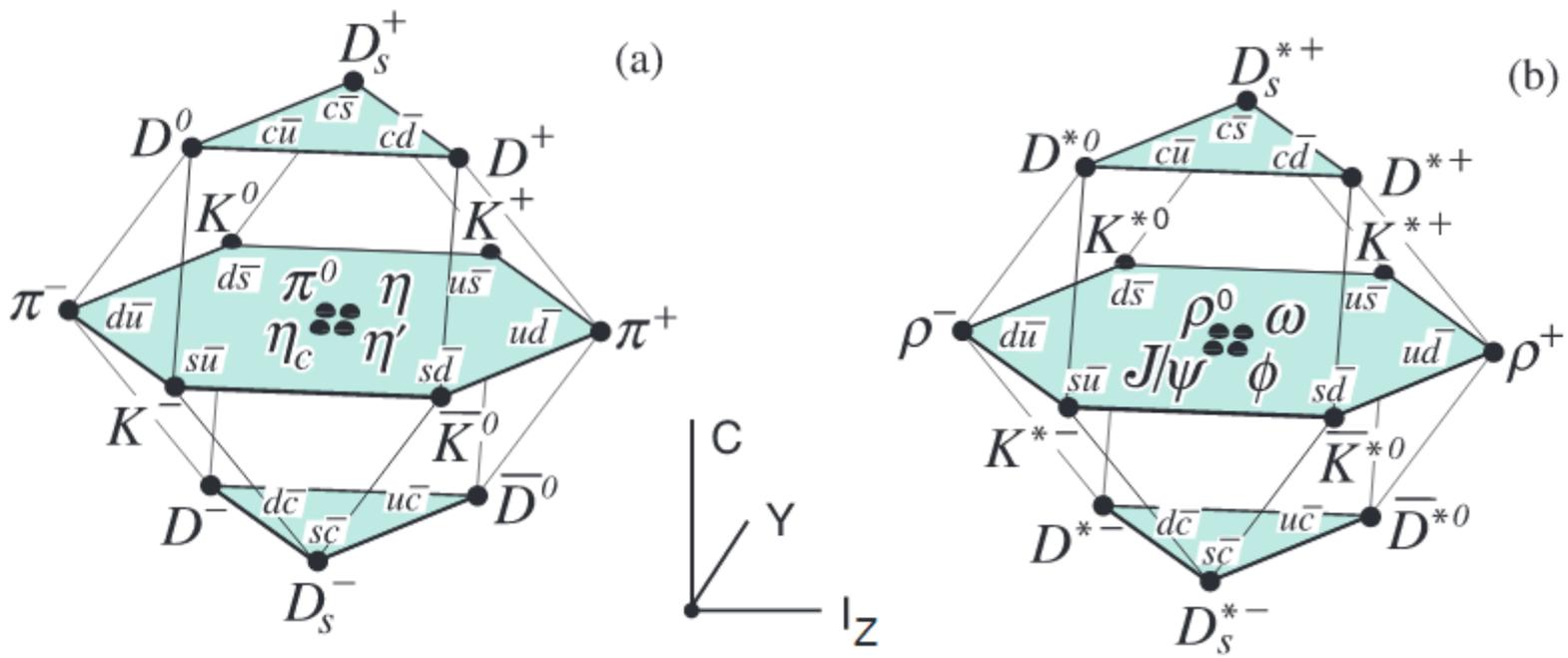


Figure 15.1: $SU(4)$ weight diagram showing the 16-plets for the pseudoscalar (a) and vector mesons (b) made of the u, d, s , and c quarks as a function of isospin I_z , charm C , and hypercharge $Y = B + S - \frac{C}{3}$. The nonets of light mesons occupy the central planes to which the $c\bar{c}$ states have been added.

三、重子的命名规则

$N\Delta\Lambda\Sigma\Sigma\Omega$ 的符号，已经用了三十多年了。规则是：

- a) 对于由三个 u/d 夸克组成的重子， $S = 1/2$ 的态为 N ， $S = 3/2$ 的态为 Δ ；
- b) 对于由两个 u/d 夸克组成的重子， $I = 0$ 的态命名为 Λ ， $I = 1$ 的态命名为 Σ ，并用第三个夸克 (c, b) 的符号作为下标，如

$$\Lambda_c(udc), \Lambda_b(udb), \Sigma_c^{++}(uuc), \Sigma_b^+(uub)$$

- c) 对于由一个 u/d 夸克组成的重子，命名为 Ξ ($|I|=1/2$)。如果第二、三个夸克为 c, b ，则用下标表示如

$$\Xi_c^+(usc), \Xi_{cc}^{++}(ucc), \Xi_b^0(usb)$$

- d) 对于没有 u/d 夸克的重子，用 Ω 标志，并用下标表示 c, b 夸克，如

$$\Omega_c^0(ssc), \Omega_b^-(ssb), \Omega_{cc}^+(scc), \Omega_{ccc}^{++}(ccc)$$

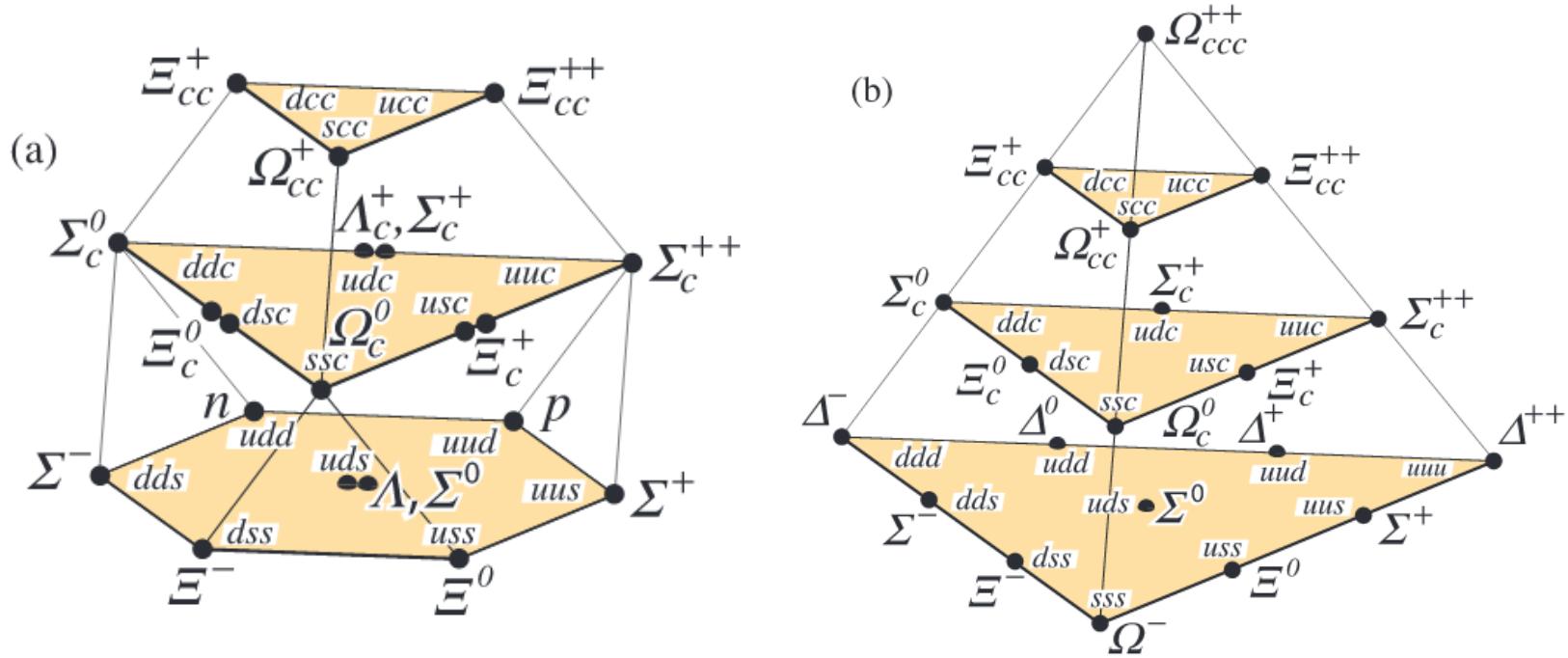


Figure 15.4: SU(4) multiplets of baryons made of u , d , s , and c quarks. (a) The 20-plet with an SU(3) octet. (b) The 20-plet with an SU(3) decuplet.

四、奇特态

关于奇特态，没有特别严格的定义。一般来说，如果一个强子态的量子数不能通过正反夸克或三个夸克系统来描述，就称为奇特态。从这个意义上讲，奇特态应该是针对夸克模型而言的。比如如下量子数不能由正反夸克构成： 0^{--} , 0^{+-} , 1^{-+} , 2^{+-} , 3^{-+} 。

- 现有实验已发现的大量介子中，还没有一个属于奇特态，这是对介子由一对正反夸克所组成的观点的又一重要支持。
- 正反玻色子可以组成量子数 $J^{PC} = 1^{-+}, 2^{+-}, 3^{-+}, \dots$

如果具有这种量子数的介子存在，那么它们可能是四夸克态（两个正反夸克对）或混杂态（一个正反夸克对和一个价胶子）或胶球（胶子构成的束缚态）。

在高能物理的研究中，探寻奇特态存在的实验迹象一直是人们密切注视的问题。

五、胶球

胶子是QCD的基本自由度，胶子携带色荷，所以胶子也应该形成束缚态——胶球。如果实验上能够确认胶球的存在，则是对QCD正确性的重要支持。

考察由两个胶子组成的胶球，由于考虑了色SU(3)对称性后8种胶子是全同粒子，它们满足玻色统计。由于胶球必须是色SU(3)单态，在色空间是对称的，因此在时空性质上也必须是对称的。这样要求

$$L + S = \text{even}$$

由于胶子的自旋为1，两胶子系统的总自旋为0, 1, 2。两个全同玻色子构成的系统的宇称和C宇称为

$$P = (-)^L, \quad C = (-)^{L+S}$$

所以两胶子系统的可能的 J^{PC} 为

$L \backslash S$	0	1	2
0	0^{++}		2^{++}
1		0^{-+} 1^{-+}	2^{-+}
2	2^{++}		0^{++} 1^{++} 2^{++} 3^{++} 4^{++}
3		2^{-+} 3^{-+} 4^{-+}	

由于胶子是规范粒子，它的质量为零，根据杨振宁定理，两个胶子构成的系统的总角动量不能为一，这样两个胶子构成的胶球的量子数只能是：

$$J^{PC} = 0^{++}, 0^{-+}, 2^{++}, 2^{-+}, \dots$$

三个胶子组成的胶球则可以取各种可能的量子数。

目前试验上也发现了一些胶球的候选者。但从试验上确定胶球态目前还有很大难度，原因是胶球和普通介子态有混合，理论上对胶球的性质（质量、衰变）以及其和普通介子的混合机制还很有限，还没有关于胶球存在的决定性判据。理论上对胶球质量谱的研究主要来自格点QCD 的数值模拟计算，目前最新的淬火近似下的胶球质量谱的格点QCD 预言如下：

J^{PC}	$r_0 M_G$	M_G (MeV)
0^{++}	4.16(11)(4)	1710(50)(80)
2^{++}	5.83(5)(6)	2390(30)(120)
0^{-+}	6.25(6)(6)	2560(35)(120)
1^{+-}	7.27(4)(7)	2980(30)(140)
2^{-+}	7.42(7)(7)	3040(40)(150)
3^{+-}	8.79(3)(9)	3600(40)(170)
3^{++}	8.94(6)(9)	3670(50)(180)
1^{--}	9.34(4)(9)	3830(40)(190)
2^{--}	9.77(4)(10)	4010(45)(200)
3^{--}	10.25(4)(10)	4200(45)(200)
2^{+-}	10.32(7)(10)	4230(50)(200)
0^{+-}	11.66(7)(12)	4780(60)(230)

