第七节　强子的命名规则

一、强相互作用的基本自由度——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

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

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）；

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 J^{PC}

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，正反夸克的总自旋只能为0，1；
如果正反夸克间的轨道角动量为L，则根据

$$P=(-)^{L+1},\quad C=(-)^{L+S}$$

正反夸克系统的可能的 J^{PC} 为，

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

说明:

1. 如果介子态也是G宇称的本证态，则也有相应的G宇称;
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=C=B=0）

普通介子也是G变换的本征态，有确定的G宇称，

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

J^{PC}	0^{-+} 2^{-+} 4^{-+}	1^{--} 2^{--} 3^{--}	0^{++} 1^{++} 2^{++}	1^{+-} 3^{+-} 5^{+-}
$^{2S+1}L_J$	$^1(S,D,\cdots)_J$	$^3(S,D,\cdots)_J$	$^3(P,F,\cdots)_J$	$^1(P,F,\cdots)_J$
$u\bar{d},(u\bar{u}-d\bar{d}),d\bar{u}$ $(I=1)$	π	ρ	$a_{0,1,2}$	b
$(u\bar{u}+d\bar{d}),s\bar{s}$ $(I=0)$	η,η'	ω,ϕ	$f_{0,1,2}, f'$	$h_{0,1},h'$
$c\bar{c}(I=0)$	η_c	ψ	$\chi_{c0,1,2}$	h_c
$b\bar{b}(I=0)$	η_b	Ψ	$\chi_{b0,1,2}$	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。具体如下：

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

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

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

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

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

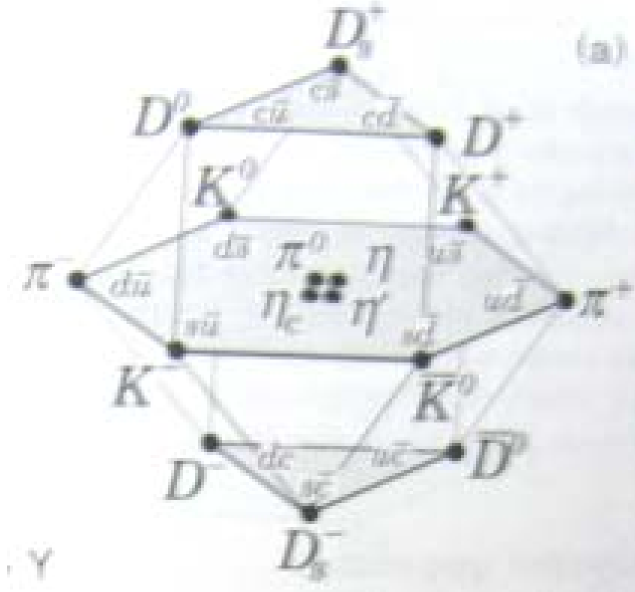
$$B=-1: B^{-}, \overline{B}^{0}, B^{*-}, \overline{B}^{*0};$$ （包含一个奇异夸克）

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

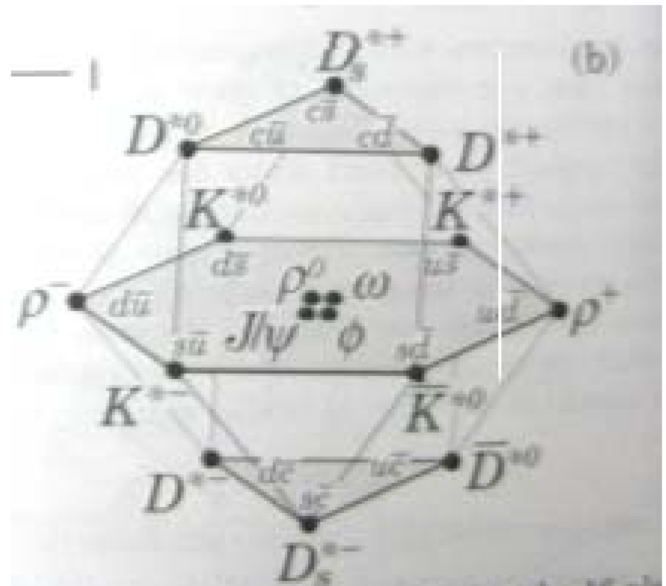
$$C=-1, S=-1: D_s^{-}(\overline{c}s), D_s^{*-}(\overline{c}s);$$

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

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



(a)
D_s^+
$c\bar{s}$
D^0
$c\bar{u}$
$c\bar{d}$
D^+
K^0
K^+
$d\bar{s}$
$u\bar{s}$
π^0
η
π^-
$d\bar{u}$
η_c
η'
$u\bar{d}$
π^+
$s\bar{u}$
$s\bar{d}$
K^-
$\bar{K}^0$
$d\bar{c}$
$u\bar{c}$
$\bar{D}^0$
D^-
$s\bar{c}$
D_s^-
Y



(b)
I
D_s^{*+}
$c\bar{s}$
D^{*0}
$c\bar{u}$
$c\bar{d}$
D^{*+}
K^{*0}
K^{*+}
$d\bar{s}$
$u\bar{s}$
ρ^0
ω
ρ^-
$d\bar{u}$
$u\bar{d}$
ρ^+
$s\bar{u}$
J/ψ
ϕ
$s\bar{d}$
K^{*-}
$\bar{K}^{*0}$
$d\bar{c}$
$u\bar{c}$
$\bar{D}^{*0}$
D^{*-}
$s\bar{c}$
D_s^{*-}

C
Y
I

三、重子的命名规则

NΔΛΣΞΩ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

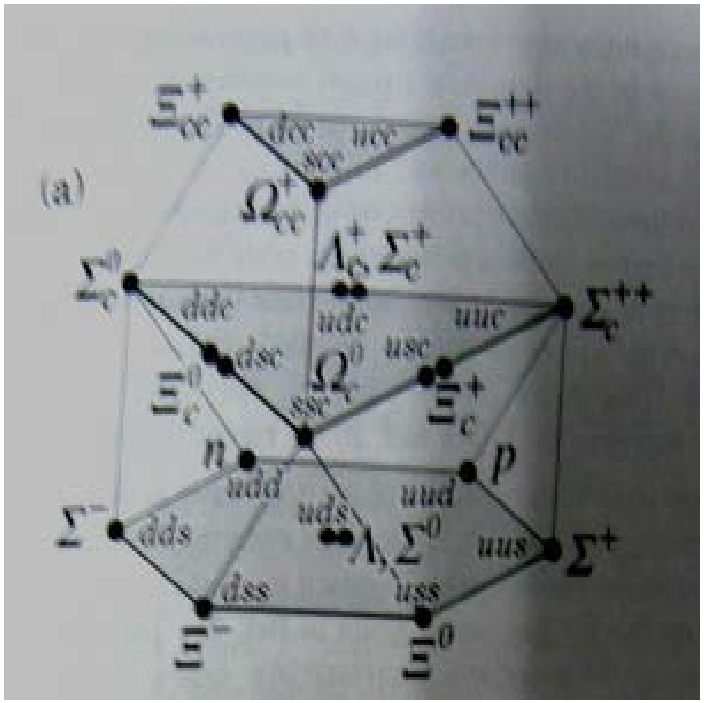
$$\Lambda_c(udc),\Lambda_b(udb),\Sigma_c^{++}(uuc),\Sigma_b^{+}(uub)$$

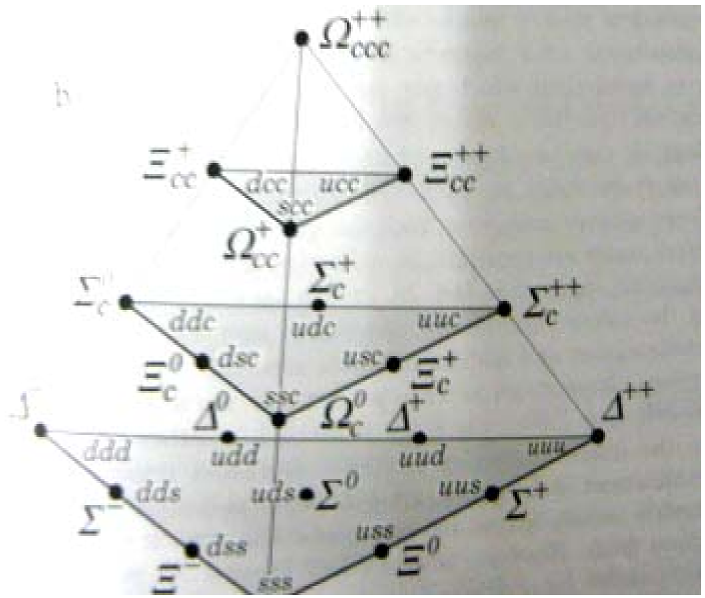
c) 对于由一个u/d 夸克组成的重子，命名为Ξ（I=1/2）。如果第二、三个夸克为c,b，则用下标表示如

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

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

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


(a)
Ξ_{cc}^{+}
Ξ_{cc}^{++}
dcc
ucc
scc
Ω_{cc}^{+}
$\Lambda_c^{+}, \Sigma_c^{+}$
Σ_c^{0}
Σ_c^{++}
ddc
udc
uuc
dsc
usc
Ω_c^{0}
Ξ_c^{0}
Ξ_c^{+}
ssc
n
p
udd
uud
Σ^{-}
dds
uds
Λ, Σ^{0}
uus
Σ^{+}
dss
uss
Ξ^{-}
Ξ^{0}


Ω_{ccc}^{++}
Ξ_{cc}^{+}
Ξ_{cc}^{++}
dcc
ucc
scc
Ω_{cc}^{+}
Σ_c^{+}
Σ_c^{++}
ddc
udc
uuc
Ξ_c^{0}
dsc
usc
Ξ_c^{+}
ssc
Δ^{0}
Ω_c^{0}
Δ^{+}
Δ^{++}
ddd
udd
uud
uuu
dds
uds
Σ^{0}
uus
Σ^{+}
Σ^{-}
dss
uss
Ξ^{0}
Ξ^{-}
sss

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： $0^{--},0^{+-},1^{-+},2^{+-},3^{-+},\cdots$

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

$$J^{PC}=1^{-+},2^{+-},3^{-+},\cdots$$

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

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

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

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

所以两胶子系统的可能的 J^{PC} 为

L \ 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:

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

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)