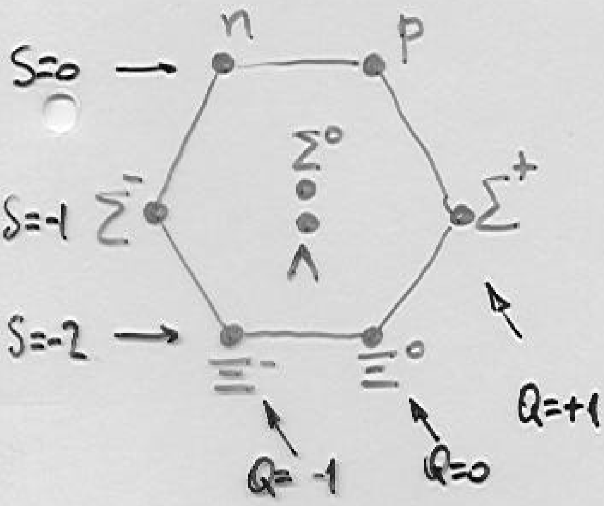
MODELO DOS QUARKS

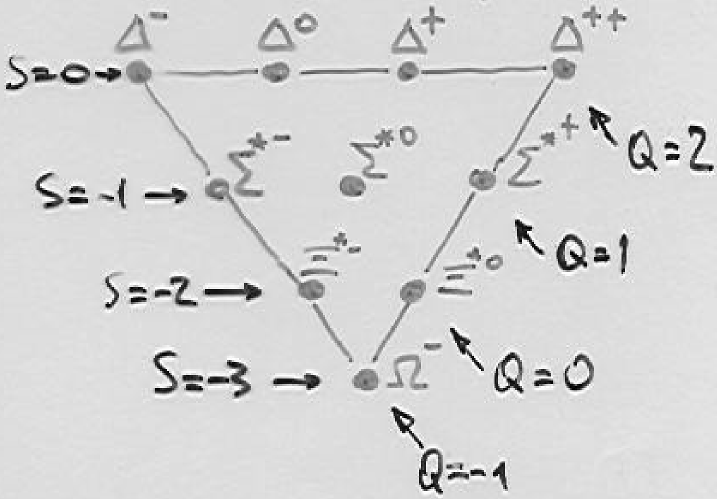
Murray Gell-Mann, 1961

Classificação dos hadrões em multipletos

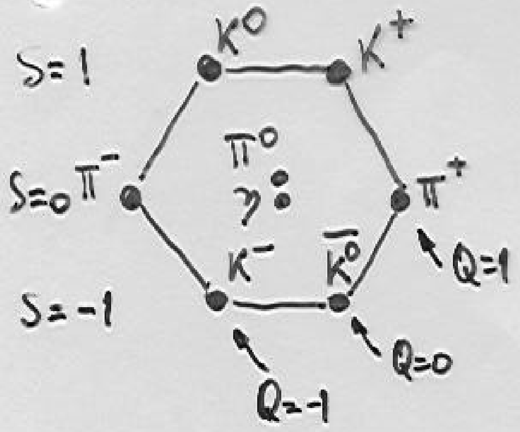
Octeto de bariões (spin 1/2)



Decupleto de bariões (spin 3/2)



Octeto de mesões (spin 0)



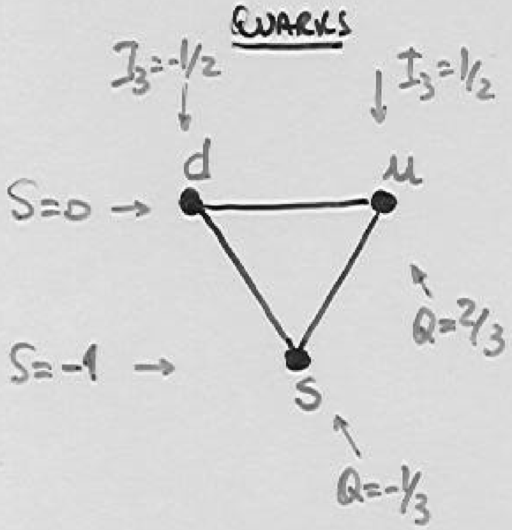
Isospin: $I_3 = Q - \frac{1}{2}(B+S)$

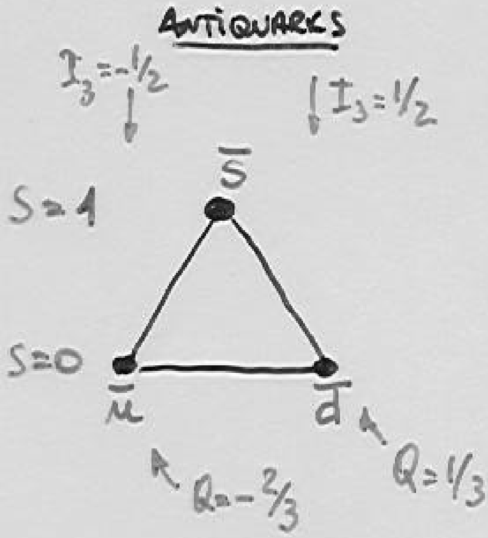
Interpretação dos multipletos em termos do <u>MODELO DOS QUARKS</u>

(Gell-Man, Zweig, 1964)

+ multipletos de spin superior

OS INGREDIENTES DO MODELO DOS QUARKS (1964)





BARIÕES : qqq

MESÕES : $q\bar{q}$

DECUPLETO DE BARIÕES

qqq	Q	S	Barião
uuu	2	0	Δ^{++}
uud	1	0	Δ^{+}
udd	0	0	Δ^{0}
ddd	-1	0	Δ^{-}
uus	1	-1	Σ^{*+}
uds	0	-1	Σ^{*0}
dds	-1	-1	Σ^{*-}
uss	0	-2	Ξ^{*0}
dss	-1	-2	Ξ^{*-}
sss	-1	-3	Ω^{-}

(Octeto de bariões?)

NONETO DE MESÕES

$q\bar{q}$	Q	S	Mesão
$u\bar{u}$	0	0	π^0
$u\bar{d}$	1	0	π^+
$d\bar{u}$	-1	0	π^-
$d\bar{d}$	0	0	η
$u\bar{s}$	1	1	K^+
$d\bar{s}$	0	1	K^0
$s\bar{u}$	-1	-1	K^-
$s\bar{d}$	0	-1	$\bar{K}^0$
$s\bar{s}$	0	0	η'

MULTIPLETOS DE SPIN SUPERIOR TÊM A MESMA COMPOSIÇÃO EM QUARKS

CONSTRUÇÃO DO NONETO DE MESÕES

Quark $\underline{u}$ e $\underline{d}$ (dobleto de isospin) :

$$u = |\tfrac{1}{2}\,\tfrac{1}{2}\rangle \qquad d = |\tfrac{1}{2}\,-\tfrac{1}{2}\rangle$$

$$\bar{d} = -|\tfrac{1}{2}\,\tfrac{1}{2}\rangle \qquad \bar{u} = |\tfrac{1}{2}\,-\tfrac{1}{2}\rangle$$

Combinações $q\bar{q}$:

isotripleto:

$$|1\;1\rangle = -u\bar{d} \qquad \pi^+\ (\rho^+)$$
$$|1\;0\rangle = (u\bar{u} - d\bar{d})/\sqrt{2} \qquad \pi^0\ (\rho^0)$$
$$|1\;-1\rangle = d\bar{u} \qquad \pi^-\ (\rho^-)$$

isosingleto: $|0\,0\rangle = (u\bar{u} + d\bar{d})/\sqrt{2}$

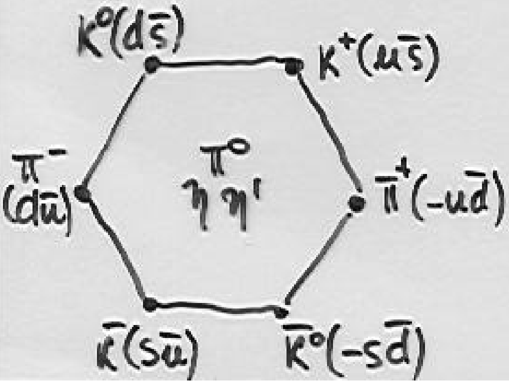
▶ Estados com $I=0$, $Q=0$:

$$\begin{cases} \eta = (u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s})/\sqrt{6} \\ \eta' = (u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s})/\sqrt{3} \end{cases} \qquad \begin{cases} \omega = (u\bar{u} + d\bar{d})/\sqrt{2} \\ \phi = s\bar{s} \end{cases}$$

SINGLETO de SU(3)

▶ Mesões estranhos :

$$K^+ = u\bar{s} \qquad K^0 = d\bar{s} \qquad \bar{K}^0 = -s\bar{d} \qquad K^- = s\bar{u}$$



$$3 \otimes \bar{3} = 8 \oplus 1$$

em $SU(3)_{flavor}$

MESÕES LEVES

Mesões com quarks u, d, s

Mom. angular orbital	Spin	J^{PC}	Noneto $I=1$	Noneto $I=1/2$	Noneto $I=0$	Massa típica MeV/c²
$l=0$	$s=0$	0^{-+}	π	K	η, η'	500
	$s=1$	1^{--}	ρ	K^*	ω, ϕ	800
$l=1$	$s=0$	1^{+-}	B	Q_2	$H, ?$	1250
	$s=1$	0^{++}	δ	κ	ε, S^*	1150
	$s=1$	1^{++}	A_1	Q_1	D, E	1300
	$s=1$	2^{++}	A_2	K^*	f, f'	1400

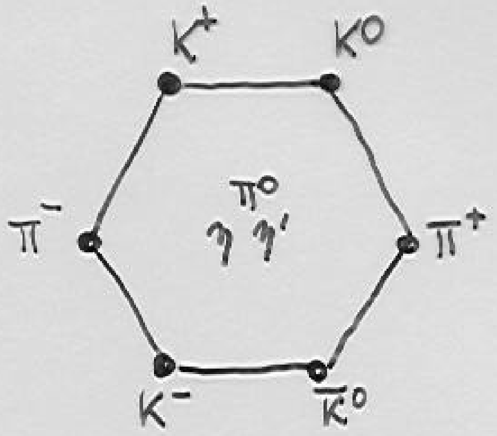
ESTADO FUNDAMENTAL $l=0$

$$\underline{\text{SPIN}}: \quad \underset{(1/2)}{2} \otimes \underset{(1/2)}{2} = \underset{(1)}{3} \oplus \underset{(0)}{1}$$

↳ SINGLETO spin 0

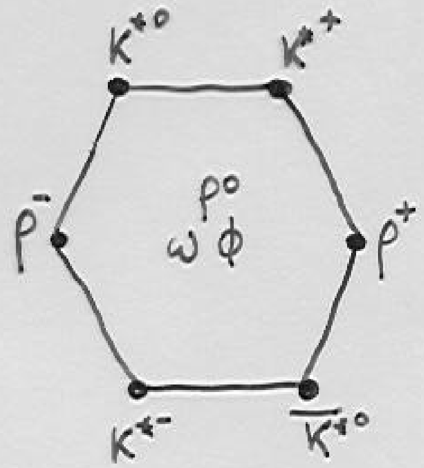
↳ TRIPLETO spin 1

MESÕES PSEUDO-ESCALARES



SPIN 0

MESÕES VECTOR



SPIN 1

MASSAS DOS MESÕES

$m_u \neq m_d \neq m_s \Rightarrow$ VIOLAÇÃO DA SIMETRIA $SU(3)_{flavor}$

$m_u \simeq m_d \Rightarrow$ SIMETRIA $SU(2)_{isospin}$ BASTANTE RAZOÁVEL

MASSAS DOS QUARKS (MeV/c^2)

	Flavor	Massa nua	Massa efectiva nos mesões	Massa efectiva nos bariões
Quarks leves	u	4.2	310	363
	d	7.5		
	s	150	483	538
Quarks pesados	c	1100	1500	
	b	4200	4700	
	t	> 100 000		

INTERACÇÕES SPIN-SPIN $\Rightarrow$ diferentes massas para elementos correspondentes de multipletos diferentes (ex: $m_\pi \neq m_\rho$)

Fórmula de massa:

$$M(\text{mesão}) = m_1 + m_2 + A\frac{(\vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2)}{m_1 m_2}$$

$$\vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2 = \begin{cases} \frac{1}{4}\hbar^2 & S=1 \\ -\frac{3}{4}\hbar^2 & S=0 \end{cases}$$

c/ $m_u = m_d = 310$ MeV

$m_s = 483$ MeV

$A = \left(\frac{2m_u}{\hbar}\right)^2 160\ MeV/c^2$

	M_{obs}	$M_{calc.}$
π	138	140
K	496	484
η	549	559
ρ	776	780
ω	783	780
K^*	892	896
ϕ	1020	1032

EXCLUSÃO DE PAULI

Quantum Field Theory $\Rightarrow$ Bosões (spin inteiro) $\Rightarrow$ ψ simétrica $\psi(1,2)=\psi(2,1)$

Fermiões (spin semi-int.) $\Rightarrow$ ψ antisimétrica $\psi(1,2)=-\psi(2,1)$

Duas partículas 1 e 2 ; Dois estados ψ_α e ψ_β :

- Partículas 1 e 2 distintas

$$\psi(1,2)=\psi_\alpha(1)\,\psi_\beta(2) \quad \text{ou} \quad \psi(1,2)=\psi_\beta(2)\,\psi_\alpha(1)$$

- Partículas 1 e 2 idênticas :

Bosões : $$\psi(1,2)=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\psi_\alpha(1)\,\psi_\beta(2)+\psi_\beta(1)\,\psi_\alpha(2)\right)$$

Fermiões : $$\psi(1,2)=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\psi_\alpha(1)\,\psi_\beta(2)-\psi_\beta(1)\,\psi_\alpha(2)\right)$$

Se $\psi_\alpha=\psi_\beta \Rightarrow \psi(1,2)=0$