

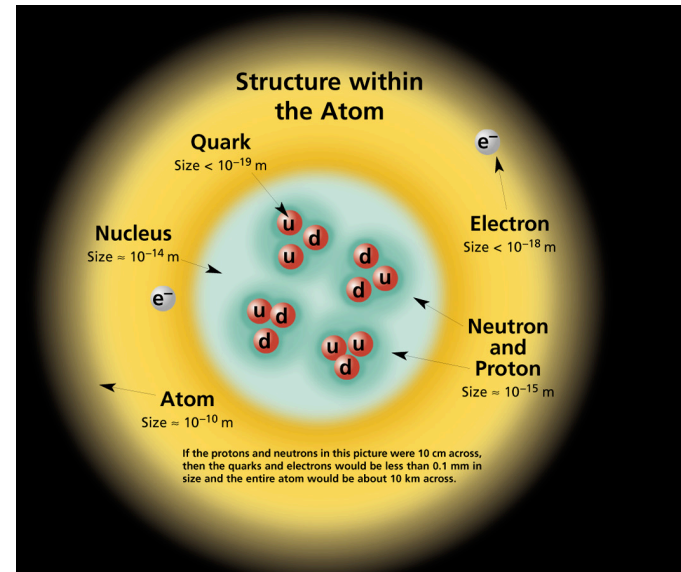
La meglio gioventù:
De GIM al modelo
estándar

Alejandro Jenkins

IV Minicongreso, IFT
18 de diciembre, 2014

Modelo estándar (ME)

FERMIONS			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3



BOSONS			force carriers spin = 0, 1, 2, ...		
Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W^-	80.4	-1			
W^+	80.4	+1			
Z^0	91.187	0			

Ingredientes

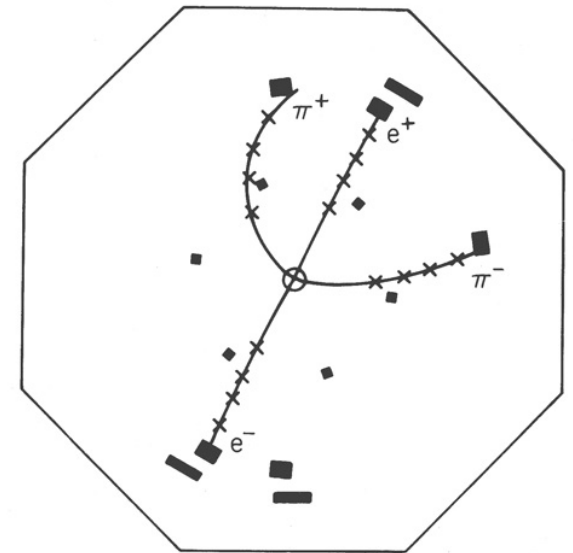
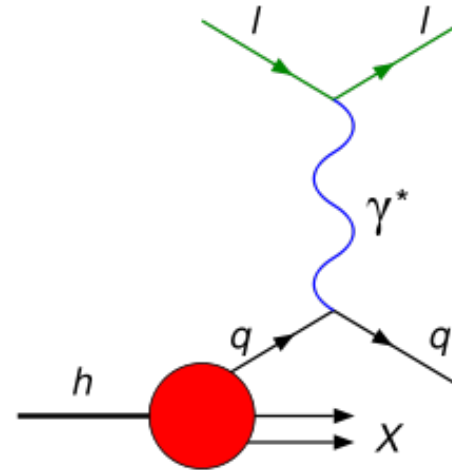
- **'54 Yang-Mills**: teorías de *gauge* (“calibre”) no abelianas
- **'61 Glashow**: corrientes débiles neutras / unificación con electromagnetismo
- **'64 Gell-Mann**: quarks (u , d , s) explican espectro de bariones y mesones
- **'64 Higgs *et al.* + '67 Weinberg**: ruptura espontánea de simetría en teorías *gauge*
- **'64 Bjorken y Glashow**: posible cuarto quark (*charm*)

Crisis

- En 1968 estas ideas estaban lejos de ser universalmente aceptadas, o siquiera dominantes
- Matriz S analítica, democracia nuclear, *bootstrap*, etc.
- Gell-Mann mismo duda de realidad física de los quarks
- Feynman decide trabajar en materia condensada

Revolución

- Post-1968, experimentos de *deep inelastic scattering* revelan estructura interna del protón
- **Noviembre '74:** estado ligado (J/ψ) de nuevo quark (c), visto por Samuel Ting (Brookhaven) y Burton Richter (SLAC)
- Confirma espectacularmente predicción de 1970 por Glashow, Iliopoulos y Maiani (GIM)



Flavor-changing neutral currents (FCNC)

- Procesos débiles en que cambia el *sabor* de un quark, pero no su carga eléctrica
- Cotas experimentales muy por debajo de expectativa teórica
- En 1970, GIM explican supresión de FCNC's y predicen nuevo quark c

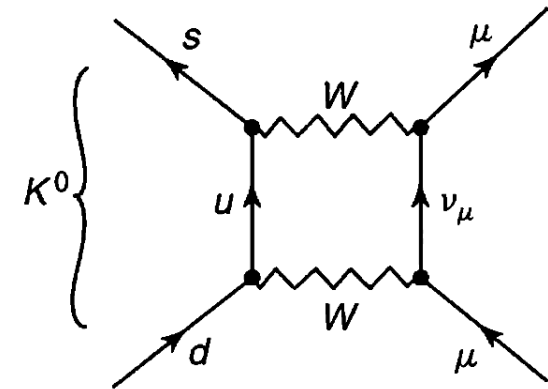


Fig. 9.4 The decay $K^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$.

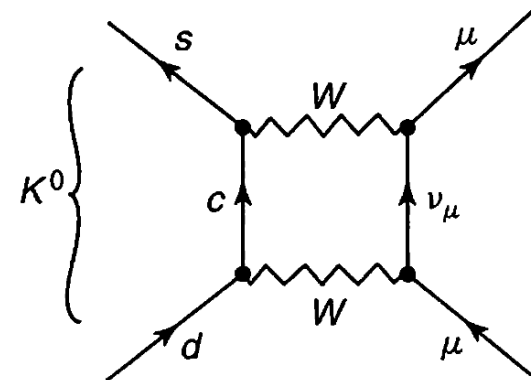
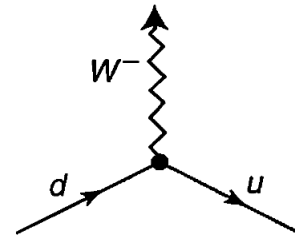


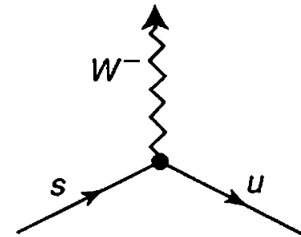
Fig. 9.5 The GIM mechanism. This diagram cancels Figure 9.4. Note the virtual c quark replacing the u .

Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM)

- Cabibbo ('63) parametriza interacción débil cargada de quarks
- GIM lo re-interpreta como rotación entre base de sabor (d, s) y base de interacción (d', s')
- Kobayashi y Maskawa ('73) proponen 3a generación de quarks para explicar violación de CP



$$\frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) \cos \theta_C$$



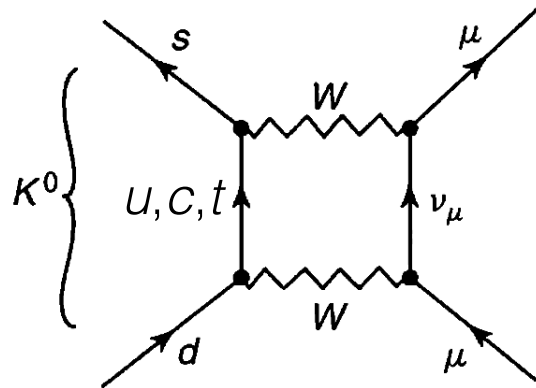
$$\frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) \sin \theta_C$$

$$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_C & \sin \theta_C \\ -\sin \theta_C & \cos \theta_C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$$

$$\text{CKM: } \begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

$$\text{unitaridad: } VV^\dagger = V^\dagger V = 1$$



$$V_{ud}^* V_{us} + V_{cd}^* V_{cs} + V_{td}^* V_{ts} = 0$$

Fig. 9.4 The decay $K^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$.

- Cancelación sería *exacta* si u, c, t tuvieran igual masa
- Supresión menor si admitimos otras partículas virtuales

Triunfo

- Nobel '79 para Glashow, Weinberg y Salam (GWS)
- Observación de b ('77), t ('95) y h ('12)
- ME funciona perfectamente como teoría efectiva
- No es muy atractivo como teoría final
- 25 parámetros libres, problema de la jerarquía, etc.



Midlife crisis

- Georgi y Glashow '74: **gran unificación** $SU(5)$
- Predecía desintegración del protón, que no fue corroborada
- Divorcio entre **fenomenología** y teorías para energías muy altas (cuerdas, etc.)
- Cotas a FCNC's han seguido restringiendo posibilidades de nueva física
- La idea más atractiva en teoría, la **supersimetría**, parece cada día más difícil de sostener frente a los datos
- Esperamos resultados del LHC en el 2015