

TEMA 11. INTRODUCCIÓN A HEP.

La Física de partículas (o Física de Altas Energías - HEP.) es un campo de las ciencias naturales que busca desentrañar la estructura última de la materia.

¿Cómo se consigue?

i) Buscar partículas elementales (los últimos constituyentes de la materia)

ii) Clarificar qué interacciones actúan sobre dichas partículas elementales para formar la materia tal y como la conocemos.

Vamos a hacer un repaso histórico de la historia moderna de las partículas elementales

			<u>Experimentos</u>
S. XIX	$10^{-10} m$	Átomo	
1897	Thomson	e^-	Rayos catódicos.
1911	Rutherford	modelo atómico	Isótopos.
1932	Chadwick	neutrón	Isótopos.
1937	Anderson et al.	muón	Rayos cósmicos.
1947	Powell et al.	π y extraños	Rayos cósmicos.
1955	Segre	\bar{P}	Bevatrón
1956	Cowan	ν	Reactor
1964	Schwinger et al.	$-\Omega$	Reactor BNL
1974	Tung et al.	J/ψ & c	BNL
1975	Pearl	Z	Spear
1978	Heidelberg	γ & b	Fermilab
1983	Rubbia et al.	W & Z^0	Sp̄pS
1994	Muchos	t	Tevatrón LEP
1998	Totsuka et al.	Posit.	Rayos Cósmicos
2012	Muchos	Higgs	Atlas, CMS

$$(10^{-19} m) \dots \lambda = \sqrt{\frac{hG}{cT}} = 10^{-35} m$$

1911	Rutherford	Modelo atómico
1927-30	Heisenberg Pauli	QFT
1930	Dirac	Ec. Dirac
1930	Pauli	Neutrino
1934	Fermi	Weak int.
1935	Yukawa	meson theory
1946-49	Tomonaga Schwinger Feynman	QED
1954	Yang, Mills	Non abelian YM th.
1956	Yang, Lee	Violación paridad
1958	Feynman et al.	Vector-Axial theory
1960	Nambu	rupt. espont. simetría.
1964	Gell-Mann et al.	quark model
1964		Violación CP
1964	Higgs et al.	Mecanismo Higgs.
1961-68	Glashow, Salam Weinberg	Unificación electrodébil
1971	Keldman, 't Hooft	Renormalización π UV

1973

Kobayashi
Maskawa

KM model CP

1973

Politzer, Gross
WilczekQCD, libertad
asintótica.

¿ y ahora? Nada.

Propiedades de las partículas elementales:

① Una partícula está "especialmente localizada en cada instante" y su número es contable.

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad p^i = \frac{mv^i}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Definimos masa y velocidad a partir de energía y momento

$$\left. \begin{aligned} E^2 &= (pc)^2 + (mc^2)^2 \\ \vec{v} &= \vec{p} \frac{c^2}{E} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} m &\rightarrow 0 \\ E &= pc \quad (\text{fotón}) \\ v &= c \end{aligned}$$

② Una partícula puede ser creada o aniquilada.

$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$$

$$\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

Conclusión importante : no nos sirve Schrödinger porque ii la probabilidad de existencia de una partícula no se conserva!!

↪ me falta QFT (tiene en cuenta creación y destrucción de partículas).

③ Corolario de 2. Una partícula no es necesariamente estable.

La probabilidad de que la partícula "muera" en dt si su vida media es τ

$$= \frac{dN}{N} = -\frac{dt}{\tau} \Rightarrow N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$$

Pero, en Mecánica Cuántica, la "probabilidad de existencia" de una partícula es $\sim |\psi|^2$, luego

$$|\psi|^2 \sim e^{-t/\tau}$$

Consideremos una partícula en un autoestado de energía:

$$\psi(x,t) \sim \psi(x) e^{-iEt/\hbar}$$

Hagamos $E = E_0 - i\frac{\Gamma}{2}$. Entonces:

$$|\psi(t)|^2 = |\psi(x)|^2 e^{-i(E_0 - i\Gamma/2)t/\hbar} =$$

$$= |\psi(x)|^2 e^{-\Gamma t/\hbar}, \text{ luego}$$

$\Gamma = \hbar/\tau$ y se tiene que

$$\boxed{\text{Inestable} \Leftrightarrow E \in \mathbb{C} \text{ con } \Gamma = \text{Im}(E) > 0}$$

¿Cómo será la distribución de masa (energía) de la partícula?

4) Una partícula tiene spin y otros grados de libertad.

• $(E, p_i) : \text{g.l. externos} \Rightarrow \text{simetrías}$

• $(\text{carga, spin, color, isospin, } \dots) : \text{g.l. internos}$



¿simetrías?

5) Cada partícula tiene su correspondiente antipartícula.

$$p(m, z, s) \rightarrow \bar{p}(m, z, s)$$

$$p(s_z, h_{int}) \rightarrow \bar{p}(-s_z, h_{int})$$

(conjugación T^q CPT).

6) Clasificación

- Hadrones : sienten fuerza fuerte.
- leptones : no la sienten.

Hadrones

- s semientero : bariones : $p, n, \Lambda, \Sigma, \Xi, \dots$
- s entero : mesones : π, K, ρ, \dots
- compuestos de quarks ($s=1/2$)

$(u, d, s, c, b, t) \rightarrow$ masa aumenta
 $(\nu, \text{down}, \text{strange}, \text{charm}, \text{bottom}, \text{top})$
 \rightarrow grados de libertad de color = RGB

$$q = \begin{cases} 2/3 e \\ -1/3 e \end{cases}$$

Leptones ($S=1/2$)

$e \quad \nu_e$

$\mu \quad \nu_\mu$

$\tau \quad \nu_\tau$

$(q \neq 0) (q = 0)$

Resumen particular

	spin	Q	I_3	Generación		
				I	II	III
quarks	$\frac{1}{2}$	$+2/3$	$+1/2$	u	c	t
	$\frac{1}{2}$	$-1/3$	$-1/2$	d	s	b
leptones	$\frac{1}{2}$	0	$+1/2$	ν_e	ν_μ	ν_τ
	$\frac{1}{2}$	-1	$-1/2$	e	μ	τ

Resumen interacciones fundamentales

Fuera	Fuerte	(Nuclear)	EM	débil	Gravedad
Fuente	Color	(hadron)	de	leñil	T_{xy}
Intensidad	0.1	(10)	1/137	10^{-5}	10^{-42}
Rango (m)	∞^*	(10^{-17})	∞	10^{-18}	∞
Potencial	$\frac{K_1 + K_2}{r}$	$\left(\frac{e^{-u_2 r}}{r} \right)$	$\frac{1}{r}$	$\frac{e^{-m_W r}}{r}$	$\frac{1}{r}$
Portador	gluón ($S=1, 8 \text{ tipos}$)	(mesón π)	γ ($S=1$)	W^{\pm}, Z^0 ($S=1$)	¿gravitón? ($S=2$)
Teoría	QCD	(Yukawa)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">QED</div> <div style="font-size: 2em;">}</div> </div>		Rel. General
Simetría	SV(3)	(-)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">GWS modelo</div> <div style="font-size: 2em;">}</div> </div>		Grupo Poincaré
gauge			U(1) x SV(2)		

(* sin significado si $\lambda > 10^{-15} \text{ m}$ por el efecto de confinamiento de quarks).