

Interacciones y conservaciones

Física Nuclear y subnuclear

20 de febrero de 2024

Dispersión electromagnética de leptones

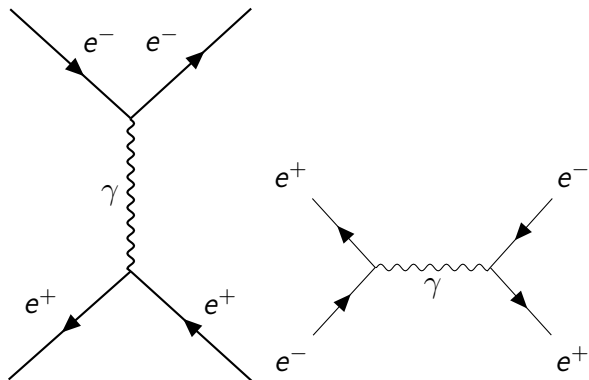
- Dispersión de Møller

$$e^{-} + e^{-} \rightarrow e^{-} + e^{-}$$

- Dispersión de Bhabha

$$e^{-} + e^{+} \rightarrow e^{-} + e^{+}$$

Dispersión electromagnética de leptones



Interacción fotón-hadrón y mesones mediadores

¿Un fotón puede decaer en un par hadrón anti-hadrón?

- ρ^0 , ω^0 y ϕ^0

Conservaciones y violaciones

Conserva

- Extrañeza
- Paridad
- Conjugación

El rincón poético de Vladimir

Neutrinos, they are very small.
They have no charge and have no mass
And do not interact at all.
The earth is just a silly ball
To them, through which they simply pass,
Like dustmaids down a drafty hall
Or photons through a sheet of glass.
J. Updike²

²De *Telephone Poles and Other Poems*, André Deutch, Londres (1964)

Oscilaciones de neutrinos

$$\nu_e = \cos\theta_{12}\nu_1 + \text{sen}\theta_{12}\nu_2$$

$$\nu_\mu = -\text{sen}\theta_{12}\nu_1 + \cos\theta_{12}\nu_2$$

$$|\nu_e(t)\rangle = e^{-iE_1 t/\hbar}\cos\theta_{12}\nu_1 + e^{-iE_2 t/\hbar}\text{sen}\theta_{12}\nu_2 \quad (4)$$

$$\mathbb{P}_{\nu_\mu}(t) = |\langle\nu_\mu|\nu_e\rangle(t)|^2 = \text{sen}^2\theta_{12}\text{sen}^2\left[\frac{1}{2}\frac{(E_1 - E_2)t}{\hbar}\right] \quad (5)$$

Procesos leptónicos

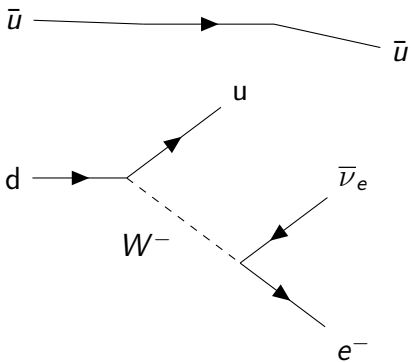
$$\mu^+ \rightarrow \bar{\nu}_\mu + e^+ + \nu_e$$

$$\nu_\tau + e^- \rightarrow \nu_\tau + e^-$$

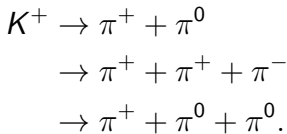
Procesos semileptónicos

$$\pi^- \rightarrow \pi^0 + e^- + \bar{\nu}_e$$

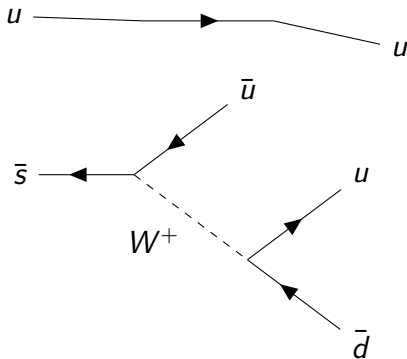
$\bar{u}d \rightarrow \bar{u}u$



Procesos hadrónicos



En ninguno cambia la
extrañeza.



Mamá yo quiero saber de dónde son los muones

Fuente de muones



- Conservación momento
- conservación momento angular

Paridad

1956 Lee y Yang: en interacciones débiles no hay evidencia de que se conserve la paridad

Vectores polares

$$\mathbf{P}(\vec{r}) = -\vec{r}$$

$$\mathbf{P}(\vec{p}) = -\vec{p}$$

Vectores axiales

$$\mathbf{P}(\vec{u} \times \vec{v}) = \vec{u} \times \vec{v}.$$

$$\mathbf{P}(\vec{L}) = \mathbf{P}(\vec{r}) \times \mathbf{P}(\vec{p}) = (-\vec{r}) \times (-\vec{p}) = (\vec{r}) \times (\vec{p}) = \vec{L}$$

$P = +$ paridad positiva o par

$P = -$ paridad negativa o impar

$$P\Psi(x) = \Psi(-x)$$

Paridad invariante, $[\hat{H}, \hat{P}] = 0$

De ser distintas funciones de onda $\Psi(x)$ y $\hat{P}\Psi(x)$ el estado estaría degenerado, la opción:

$$\Psi(\mathbf{x}) = \eta_P \Psi(\mathbf{x}), \quad \eta_P = \pm 1$$

$$\mathbf{P} |\text{estado inicial}\rangle = \mathbf{P}(|a\rangle)\mathbf{P}(|b\rangle)\mathbf{P}(|\text{movimiento relativo}\rangle)$$

$$\eta_P(\text{estado inicial}) = \eta_P(a)\eta_P(b)\eta_P(\text{movimiento relativo})$$

$$\text{función de onda } \eta_P(\text{estado inicial}) = \eta_P(a)\eta_P(b)(-1)^\ell$$

Determinando paridades

Fijamos $\eta(p) = +1$

$$d + \pi^- \rightarrow n + n$$

Usamos

$$\eta_p(d)\eta_p(\pi^-)(-1)^\ell = \eta_p(n)\eta_p(n)(-1)^{\ell'}$$

Deuterón en el estado base, $\ell = 0$, al atrapar al pión, $\ell = 0$

$$\eta_p(p)\eta_p(n)\eta_p(\pi^-) = -1$$

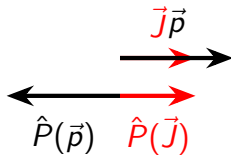
Violaciones de conservación de la paridad

- 1924 Laporte propone que hay dos diferentes clases de niveles para los átomos
- Wigner asocio estas clases son producto de la invariancia respecto a la reflexión espacial
- Se volvió un dogma, que en 1956 Lee y Yang derribaron
- Wu descubre la violación de la paridad en decaimientos β

$$\vec{r} \xrightarrow{\hat{P}} -\vec{r}$$

$$\vec{j} \xrightarrow{\hat{P}} \vec{j}$$

Los neutrinos zurdos



Combinación de estados

$$|\alpha\rangle = c |par\rangle + d |impar\rangle, \quad |c|^2 + |d|^2 = 1$$

$$\hat{P} |\alpha\rangle = c \hat{P} |par\rangle + d \hat{P} |impar\rangle \neq \eta_p |\alpha\rangle$$

Conjugación de carga

$$\mathbf{C} |q_{gen}\rangle = | -q_{gen}\rangle ,$$

$$\mathbf{C}^2 = \mathbf{I}$$

$$[Q, C] \neq 0$$

Pareciera que sólo en partículas neutras, pero tampoco en neutrinos no.

Inversión del tiempo

$$t \xrightarrow{\mathbf{T}} -t$$

$$\vec{x} \xrightarrow{\mathbf{T}} \vec{x}$$

$$\vec{p} \xrightarrow{\mathbf{T}} -\vec{p}$$

$$\vec{j} \xrightarrow{\mathbf{T}} -\vec{j}$$

Neutrinos de Majorana o Dirac

- Experimentalmente no hay razón para considerar que los neutrinos siguen la ecuación de Dirac.
- En 1937 Majorana propuso una ecuación de onda distinta que funcionaba con partículas neutras.
- Pero partículas y antipartículas son indistinguibles.

Interacción fuerte

- Similar a la QED , ahora tenemos QCD
- Tres carga: r , g y b
- Gluón carga bicolor $r\bar{g}$, QCD es no abeliana.
- La teoría es no lineal e imposibilita ver gluones libres.
- Anomalías en momentos magnéticos de protones y neutrones.
- Confinamiento

Hadronización

$$e^+ + e^- \rightarrow \text{hadrones} \\ \rightarrow q + \bar{q}.$$

- Se forman nuevos pares cuark-anticuark
- Energías $\sim 0,5$ y 1 GeV

Ángulo de apertura

$$\frac{p_T}{p} \approx \frac{0,5}{\sqrt{s}/2} = \frac{1}{\sqrt{s}}. \quad (7)$$

- Aperturas de unos pocos grados. Espín 1/2.
- Los cuarks aparecen como ángulos sólidos estrechos en estos jets.

$$R = \frac{\sigma(e^+ + e^- \rightarrow \text{hadrones})}{\sigma(e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-)}$$

Razón de secciones eficaces

- Si los cuarks son puntuales:

$$R = \sum_i q_i^2.$$

- Resulta que es tres veces mayor.
- A energías más altas aparece un tercer jet: el de gluones.

Bariones pesados y el color

- $\Delta^{++} = uuu$
- Los espines apuntan todos hacia arriba, por ello el $J_{\Delta^{++}} = 3/2$
- Similar pasa con $\Omega^{-} = sss$

Descubrimiento del bosón de Higgs

- Producción de bosones neutros: choques partícula anti-partícula
- Choques $p - \bar{p}$: por *bremsstrahlung*
- Choques $p - p$: fusión de gluones
- Cuarks de cada partícula emiten bosones vectoriales que se aniquilan.
- Para $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$, 20pb . Para $\sqrt{s} = 30\text{TeV}$ para $M_H = 115\text{GeV}$, $0,4\text{pb}$ para $M_H = 600\text{GeV}$, hasta 15fb para $M_H = 1000\text{GeV}$

Sentido físico de los potenciales vectoriales

- Aparece en la teoría cuántica

En ausencia de campo electromagnético, la ecuación estacionaria de Schrödinger:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi_0 = E\psi_0, \quad (12)$$

