Introducción a la Física de Partículas

01-05
Colisiones

Hernán Asorey

Escuela de Física, Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
hasorey@uis.edu.co

20130917M

01-05-20130917M-HA-colisional.pdf

Universidad Industrial de Santander

Contenidos

Formulerío

Porque alguna vez había que hacerlo

Dispersión	$E^2 = m^2 + \mathbf{p}^2$	(1)
Minkowsky	$\eta = (1, -1, -1, -1)$	(2)
Métrica	$\mathbf{g}\mathbf{g}^{-1} = g_{\nu\rho} g^{\mu\rho} = \delta^{\mu}_{\nu}$	(3)
Ortogonalidad	$g_{\mu\nu} \Lambda^{\mu}_{\rho} \Lambda^{\nu}_{\sigma} = g_{\rho\sigma}$	(4)
Contravar.	$(t, \mathbf{r}) = a^{\mu} = g^{\mu\nu} a_{\nu}$	(5)
Covar.	$(t, -\mathbf{r}) = a_{\mu} = g_{\mu\nu} a^{\nu}$	(6)
TL directa	$a'^{\mu} = (\Lambda)^{\sigma}_{\mu}\, a^{\sigma}$	(7)
TL inversa	$a'_{\mu} = \left(\Lambda^{-1}\right)^{\sigma}_{\mu} a_{\sigma}$	(8)
Relación TL	$\left(\Lambda^{-1}\right)^{\sigma}_{\mu} = g_{\mu\nu} \Lambda^{\nu}_{\rho} g^{\rho\sigma}$	(9)
P. interno	$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \equiv a_{\mu} b^{\mu} = a^{\mu} b_{\mu}$	(10)
Der Cov	$\frac{\partial}{\partial^{\mu}} \equiv \partial_{\mu} = \left(\frac{\partial}{\partial t}, \nabla\right)$	(11)
Der Contra	$\frac{\partial}{\partial_{\mu}} \equiv \partial^{\mu} = \left(\frac{\partial}{\partial t}, -\nabla\right)$	(12)
Dalambert	$\partial_{\mu}\partial^{\mu} = \left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - \nabla^2\right) \equiv \square$	(13)
Impulso	$p^{\mu} \equiv (E, \mathbf{p})$	(14)
Masa inv	$p^{\mu} p_{\mu} \equiv p^2 = E^2 - \mathbf{p}^2 = m_0^2$	(15)
Tasa Dec	$\Gamma \rightarrow \tau = \Gamma^{-1}$	(16)
Branching	$\frac{\Gamma_i}{\Gamma_{\mathrm{tot}} \equiv \sum_i \Gamma_i}$	(17)
		(18)

Contenidos

(covariantes · contravariantes) → invariantes

- La composición de dos TL es una TL
- El producto interno en Minkowsky $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \equiv a_\mu b^\mu = a^\mu b_\mu$ es invariante ante transformaciones de Lorentz
- Tres invariantes famosos tres
  - Invariante ds^2:

$$ds^2 \equiv dx^\mu dx_\mu = d(ct)^2 - (dx)^2 - (dy)^2 - (dz)^2 \tag{19}$$

  - Derivadas parciales:

$$\frac{\partial}{\partial^\mu} \equiv \partial_\mu = \left(\frac{\partial}{\partial t}, \nabla\right) \qquad \text{y} \qquad \frac{\partial}{\partial_\mu} \equiv \partial^\mu = g^{\mu\nu}\partial_\nu = \left(\frac{\partial}{\partial t}, -\nabla\right) \tag{20}$$

    y luego, el invariante es el operador D'alambertiano:

$$\partial_\mu \partial^\mu = \left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - \nabla^2\right) \equiv \Box \tag{21}$$

  - Cuadrivector Energía-momento: Recordando clase 01-01: $E = \gamma m_0$ y $\mathbf{p} = \gamma m_0 \mathbf{v}$, podemos formar un cuadrivector:

$$p^\mu \equiv (E, \mathbf{p}) \qquad \text{y} \qquad p_\mu = g_{\mu\nu} p^\nu \equiv (E, -\mathbf{p}) \tag{22}$$

$$p^\mu p_\mu \equiv p^2 = E^2 - \mathbf{p}^2 = m_0^2 \tag{23}$$

“Probabilística”

- Sea un muón en reposo que fue creado a $t = t_0$
- En t, la “edad” es $\Delta t \equiv (t - t_0)$
- ¿Cuál es la probabilidad de que el muón decaiga entre Δt y $\Delta t + dt$?
- ¿Depende de Δt? $\longrightarrow$ ¡NO!
- Llamemos Γ a la probabilidad de decaimiento por unidad de tiempo.
- Γ es la tasa de decaimiento.
- **Luego, para N_0 muones a $t = t_0$, $dN = -\Gamma N_0\, dt$, y entonces**

$$N(t) = N_0\, e^{-\Gamma t} \tag{24}$$

- **La prob. de encontrar aún al muón a tiempo t es**

$$P(t) = \frac{1}{\Gamma} e^{-\Gamma t} = \tau e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad \tau \equiv \frac{1}{\Gamma} \tag{25}$$

- **Y por ende, la probabilidad de decaimiento será**

$$P(t) = 1 - \tau e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{26}$$

- **τ (vida media) es el promedio de los tiempos de vida de las partículas**
- **Propiedad de falta de memoria:**

$$P[t > (\Delta t + dt) | t > \Delta t] = P[t > dt]$$

- Tres modos de decaimiento

$$\begin{aligned} \mu^- &\rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu & &\approx 100\,\% \\ \mu^- &\rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \gamma & &1{,}4 \times 10^{-2} \\ \mu^- &\rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu e^+ e^- & &3{,}4 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

- Como siempre, a priori no podremos determinar, cuál seguirá, y con que probabilidad (lo haremos)
- Cada modo, tendrá su propia tasa de decaimiento Γ_i:

$$\Gamma_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^{N} \Gamma_i, \quad \tau = \frac{1}{\Gamma_{\text{tot}}} \tag{27}$$

- **Con esto, queda definido el**

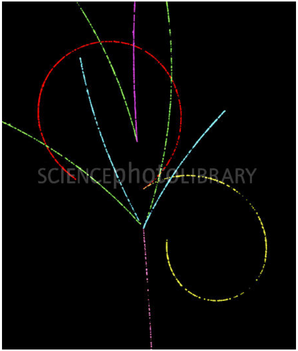
Branching ratio $\equiv \Gamma_i/\Gamma_{\text{tot}}$.

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu, \quad \Gamma_i/\Gamma_{\text{tot}} \approx 100\,\%$$

Contenidos

Decaimiento

Decaimiento: Proceso espontáneo donde el estado inicial asintótico corresponde a una única partícula y el estado final a un número no estipulado a priori de partículas diferentes a la original (si no, ¡sería una emisión!)



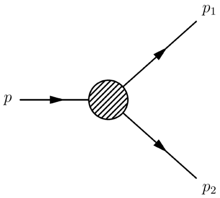
$$
\begin{aligned}
K^- p &\rightarrow \Xi^0 K^0 \pi^- \pi^+ \\
K^0 &\rightarrow \pi^- \pi^+ \\
\Xi^0 &\rightarrow \Lambda^0 \pi^0 \\
\pi^0 &\rightarrow e^- e^+ \\
\Lambda^0 &\rightarrow \pi^- p
\end{aligned}
$$

“Cascade” particle

- En general, pensamos a este proceso como madre $\rightarrow$ $\mathrm{hija}_1 \cdots \mathrm{hija}_n$
- La conservación del cuadri-impulso implica

$$p_{\mathrm{inicial}} = p_{\mathrm{final}} \Rightarrow p = \sum_{i=0}^{n} p_i \qquad (28)$$

Decaimiento



Estado inicial: partícula masa M en reposo

$$p^2 = M^2, p^\mu = (M, \vec{0}) \qquad (29)$$

Estado final: m_1 y m_2

$$p_1^2 = m_1^2, p^\mu = (E_1, \vec{p_1}) \qquad (30)$$

$$p_2^2 = m_2^2, p^\mu = (E_2, \vec{p_2}) \qquad (31)$$

Sug: use los invariantes