Scattering = Colisiones = Dispersiones

Módulo de Teoría: Teoría Cuántica de Campos

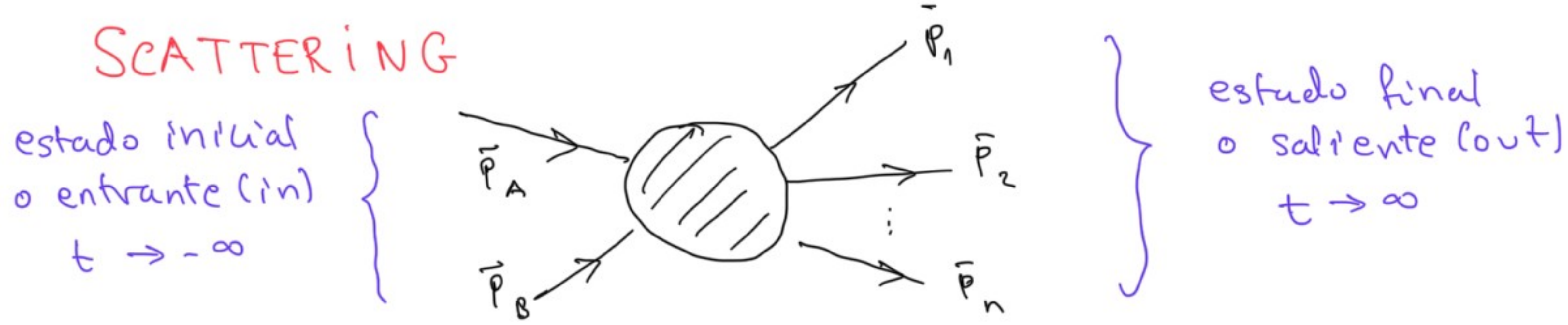
Nicolás BERNAL
Universidad Antonio Nariño

10/02/2022

Latin American alliance for Capacity buildiNG in Advanced physics
LA-CoNGA physics

Cofinanciado por el programa Erasmus+ de la Unión Europea

Dispersiones



Estado inicial $|\vec{p}_A, \vec{p}_B\rangle_{\text{in}}$: partículas de momento definido, muy separadas, chocan (interactúan), salen partículas de momento $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \cdots$, observadas mucho después, lejos del punto de interacción → estado final $|\vec{p}_1, \vec{p}_2, \cdots\rangle_{\text{out}}$

La amplitud de probabilidad de transición es

$$_{\text{out}}\langle \vec{p}_1\, \vec{p}_2\, \cdots \vec{p}_n | \vec{p}_A\, \vec{p}_B \rangle_{\text{in}} \equiv \langle \vec{p}_1\, \vec{p}_2\, \cdots \vec{p}_n | \mathcal{S} | \vec{p}_A\, \vec{p}_B \rangle$$

* $|\vec{p}_A\, \vec{p}_B\rangle, \; |\vec{p}_1\, \vec{p}_2 \cdots \vec{p}_n\rangle$ definidos en un tiempo de referencia común
* Matriz *S*

Dispersiones

Si no hay interacciones $\mathcal{S} = 1$

la parte no trivial viene de la matriz $\mathcal{T}$ definida por

$$\mathcal{S} = 1 + i\mathcal{T}$$

$\mathcal{S}$, y por lo tanto $\mathcal{T}$, debe incluir $\delta^{(4)}\left(p_A + p_B - \sum_n p_n\right)$

por conservación de la energía y el momento

Se define la matriz $\mathcal{M}$

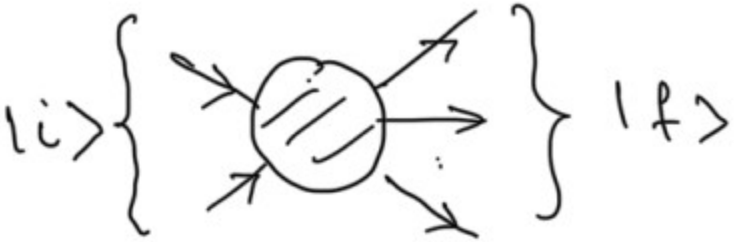
$$\langle \vec{p}_1\, \vec{p}_2 \cdots \vec{p}_n |\, i\mathcal{T}\, | \vec{p}_A\, \vec{p}_B \rangle = (2\pi)^4\, \delta^{(4)}\left(p_A + p_B - \sum_n p_n\right)\, i\,\mathcal{M}\left(p_A,\, p_B \to \sum_n p_n\right)$$

→ $\mathcal{M}$ se calcula usando los diagramas de Feynman

$\mathcal{M}$ y sección eficaz

Simplificando la notación

$$\mathcal{S} = 1 + i\,\mathcal{T}$$
$$\mathcal{S}_{fi} = \delta_{fi} + i(2\pi)^4\,\delta^{(4)}(p_i - p_f)\,\mathcal{M}_{fi}$$



1. Rata de transición para ir de $|i\rangle$ a $|f\rangle$

$$R_{fi} = \frac{1}{T}\,\frac{|\mathcal{S}_{fi}|^2}{\langle f|f\rangle\langle i|i\rangle}$$

← probabilidad por unidad de tiempo
T: tiempo total del experimento

La interacción viene de $\mathcal{M}_{fi}$
La norma cuadrada incluye:

$$\left[(2\pi)^4\,\delta^{(4)}(p_i - p_f)\right]^2 = (2\pi)^4\,\delta^{(4)}(p_i - p_f) \times (2\pi)^4\,\delta^{(4)}(p_f - p_i)$$
$$= (2\pi)^4\,\delta^{(4)}(p_i - p_f) \times \underbrace{(2\pi)^4\,\delta^{(4)}(0)}_{\int d^4z \,=\, VT} = (2\pi)^4\,\delta^{(4)}(p_i - p_f) \times V\,T$$

V: volumen total del experimento

$\mathcal{M}$ y sección eficaz

Al final los factores de V y T se cancelan.

También aparecen en $\langle i|i\rangle$ y $\langle f|f\rangle$

$$\langle\vec{p}|\vec{p}\,'\rangle = (2\pi)^3\, 2\, E_{\vec{p}}\, \delta^{(3)}(\vec{p}-\vec{p}\,')$$

$$\langle\vec{p}|\vec{p}\rangle = (2\pi)^3\, 2\, E_{\vec{p}}\, \delta^{(3)}(0) = 2\, E_{\vec{p}}\, V$$

$$\langle i|i\rangle = (2\, E_A\, V)\,(2\, E_B\, V)\,, \qquad \langle f|f\rangle = (2\, E_1\, V)\,(2\, E_2\, V)\cdots(2\, E_n\, V)$$

2. Sección eficaz σ

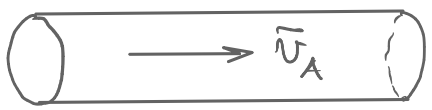
$$\sigma = \frac{\text{rata de transición}}{\text{flujo incidente}} \quad \times \; \text{área efectiva de choque}$$

flujo incidente = # de partículas incidentes por unidad de área y unidad de tiempo

$$= \frac{|\vec{v}_A - \vec{v}_B|}{V}$$

en sistema en reposo de B

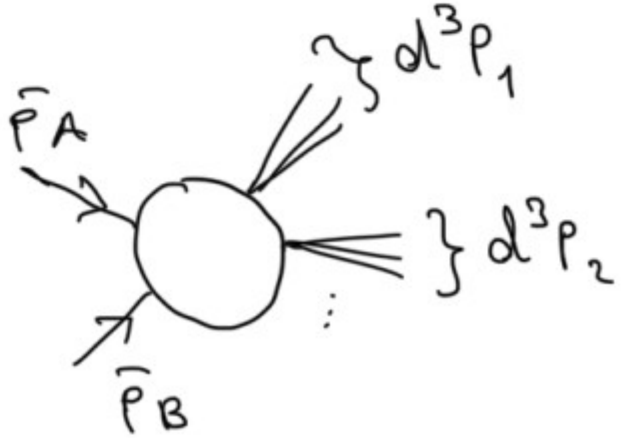
flujo = $\dfrac{|\vec{v}_A|}{V}$



3. Sección eficaz diferencial

$$d\sigma = \frac{R_{fi}\, V}{|\vec{v}_A - \vec{v}_B|}\, d\Pi$$

$$d\Pi = \left(\frac{V}{(2\pi)^3}\, d^3p_1\right) \left(\frac{V}{(2\pi)^3}\, d^3p_2\right) \cdots \left(\frac{V}{(2\pi)^3}\, d^3p_n\right)$$



sustituyendo

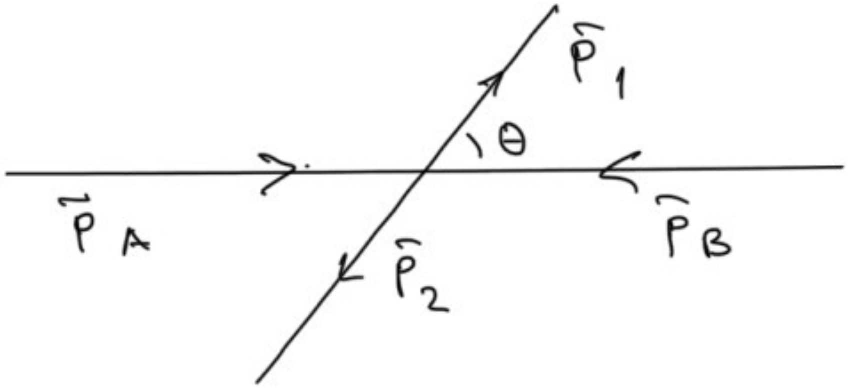
$$d\sigma = \frac{|\mathcal{M}|^2}{(2E_A)\,(2E_B)\,|\vec{v}_A - \vec{v}_B|}\, d\Pi_{\mathrm{LIPS}}$$

LIPS = Lorentz invariant phase space

$$d\Pi_{\mathrm{LIPS}} = (2\pi)^4\, \delta^{(4)}\left(p_A + p_B - \sum_n p_n\right) \frac{d^3p_1}{(2\pi)^3(2E_1)} \frac{d^3p_2}{(2\pi)^3(2E_2)} \cdots \frac{d^3p_n}{(2\pi)^3(2E_n)}$$

M y sección eficaz

$A + B \rightarrow 1 + 2$ en el marco del centro de masa



$$\vec{p}_A = -\vec{p}_B$$
$$\vec{p}_1 = -\vec{p}_2$$
$$E_A + E_B = E_1 + E_2 \equiv E_{\rm CM}$$
$$d\Omega = \sin\theta \, d\theta \, d\phi$$

$$\left.\frac{d\sigma}{d\Omega}\right|_{\rm CM} = \frac{|\mathcal{M}|^2}{64\pi^2 \, E_{\rm CM}^2} \frac{|\vec{p}_1|}{|\vec{p}_A|} \, \Theta(E_{\rm CM} - m_1 - m_2)$$

Si $m_1 = m_2 = m_A = m_B = m$

$$\left.\frac{d\sigma}{d\Omega}\right|_{\rm CM} = \frac{|\mathcal{M}|^2}{64\pi^2 \, E_{\rm CM}^2} \, \Theta(E_{\rm CM} - 2m)$$

→ M. Schwartz, *Quantum Field Theory and the Standard Model*

http://laconga.redclara.net

contacto@laconga.redclara.net

lacongaphysics

Latin American alliance for
Capacity buildiNG in Advanced **physics**

LA-CoNGA **physics**

Cofinanciado por el programa Erasmus+ de la Unión Europea