PROCESO DE INTERACCION ENTRE PARTICULAS

Profesor: Manuel Jenaro Ordoñez Ortiz

En este artículo se dan las ideas fundamentales sobre la dinámica de partículas en procesos de interacción entre ellas, es así como se introducen los llamados Invariantes Cinemáticos.

1) INTRODUCCION

En todo proceso de interacción entre partículas es necesario tener en cuenta algunas reglas para la conservación de las variables físicas durante el proceso.

Una medida indirecta de la posibilidad de ocurrencia de un proceso es la Sección Eficaz, la misma que viene expresada en función de los llamados Invariantes Cinemáticos del proceso. En la Física todo evento observable es físicamente medible dentro de una región que asegura la ocurrencia del proceso, esta región se conoce como una región física. Naturalmente que estamos hablando de una región en el espacio físico cuadri-dimensional.

2) INVARIANTES CINEMATICOS

Consideremos, por ejemplo, el proceso dispersivo entre dos partículas con cuadri-momentos lineales q_1 y q_2 de modo que q_3 y q_4 son los cuadri-momentos de las partículas dispersadas que por conservación del cuadri-momento lineal satisfacen la relación:

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = \emptyset \qquad 2.1$$

desde el punto de vista de la teoría de la relatividad se cumple que si q es el cuadri-momento de una partícula de masa m, entonces:

$$q^2 = m^2$$

teniendo en consideración la conservación de la carga durante el tiempo que dura el proceso ocurren tres tipos de reacciones:

$$\begin{aligned}
&\text{Primera reacción (I)}: 1 + 2 \rightarrow 3 + 4 \\
&\text{Segunda reacción (II)}: 1 + \bar{3} \rightarrow \bar{2} + 4 \qquad 2.2 \\
&\text{Tercera reacción (III)}: 1 + \bar{4} \rightarrow \bar{2} + 3
\end{aligned}$$

En 2.2 los números se refieren a las partículas y las barras.sobre los mismos a las antipartículas. El cambio de una reàcción a otra, es decir, el paso de una partícula al lado opuesto de la fórmula, corresponde a un cambio en el signo de la componente $q_\emptyset$ y a un cambio en el signo de la carga ($q_\emptyset$ es la componente en el tiempo del cuadri-momento lineal q). En otras palabras reemplazar la partícula por la antipartícula. Las ecuaciones (2.2) son parte de un mismo proceso (dispersión) visto a través de tres canales diferentes, conocidos como canales de interacción de la reacción.

Estas ideas pueden ser aclaradas con un ejemplo muy sencillo: Si las partículas 1 y 3 son electrones; 2 y 4 son fotones, entonces el canal (I) representa la dispersión de un fotón por un electrón, el canal (III) es lo mismo que el canal (I) puesto que el fotón es una partícula estrictamente neutral, el canal (II) es la conversión de un par electrón-positrón en dos fotones.

Dado los cuadri-momentos q_1, q_2, q_3, q_4 de las partículas en general, entonces según (2.1) sólo tres de ellos son linealmente independientes, por ejemplo q_1, q_2, q_3. Además los cuadri- momentos se combinan para formar cantidades que son relativísticamente invariantes tales como:

$$q^2_1 , q^2_2 , q^2_3 , q_1q_2 , q_1q_3 , q_2q_3$$

estas cantidades invariantes satisfacen la relación :

$$(q_1 + q_2 + q_3)^2 = q^2_4 = m^2_4 \qquad \textbf{2.3}$$

como la combinación de cantidades invariantes da otra cantidad invariante podemos formar las siguientes :

$$\begin{aligned} s &= (q_1 + q_2)^2 = (q_3 + q_4)^2 \\ t &= (q_1 + q_3)^2 = (q_2 + q_4)^2 \qquad \textbf{2.4} \\ u &= (q_1 + q_4)^2 = (q_2 + q_3)^2 \end{aligned}$$

de las relaciones en (2.4) se deduce fácilmente que :

$$s + t + u = h \qquad \textbf{2.5}$$

donde

$$h = m^2_1 + m^2_2 + m^2_3 + m^2_4 \qquad \textbf{2.6}$$

Las relaciones en (2.4) están en cierto modo conectadas con los canales I, II y III como es fácil notar, es por esto que generalmente se les denomina canal s, t y u respectivamente.

Considerando por ejemplo el canal s pero en el sistema del centro de masa de las partículas 1 y 2, son cuadri-momentos dados por:

$$q_1 = p_1 = (\epsilon_1 , \bar{p}_s) , q_2 = p_2 = (\epsilon_2 , -\bar{p}_s)$$

$$q_3 = -p'_3 = (-\epsilon_3 , -\bar{p}'_s) , q_4 = -p_4 = (-\epsilon_4 , \bar{p}'_s) \qquad \textbf{2.7}$$

donde el índice en las letras p y p' indica sólo el canal de reacción s, ϵ es la letra usada para la energía total de cada partícula. Teniendo en cuenta las relaciones (2.4), (2.5) y (2.6) se deducen las siguientes:

$$s = E^2_s , E_s = \epsilon_1 + \epsilon_2 = \epsilon_3 + \epsilon_4 \qquad \textbf{2.8}$$

3) REGIONES FISICAS

Las regiones de variación de las cantidades s, t, u se determinan con el uso de coordenadas triangulares en un plano conocido como el plano de MANDELSTAN. Aquí los ejes coordenados son tres líneas rectas que se intersectan formando un triángulo equilátero. Las coordenadas s, t, u se miden a lo largo de direcciones perpendiculares a estas tres líneas (dirección positiva hacia el interior del triángulo) como se muestra en la figura número 1.

Considerando que los cuadri-momentos q_a, q_b siempre satisfacen la relación :

$$q_a\, q_b \geq m_a\, m_b \qquad \mathbf{3.1}$$

podemos escribir la relación

$$(q_a + q_b)^2 \geq (m_a + m_b)^2 \qquad \mathbf{3.2}$$

en el caso de tener las partículas p_a y p_b y con los cambios siguientes:

$$q_a = p_a\,,\ q_b = -p_b$$

se tiene :

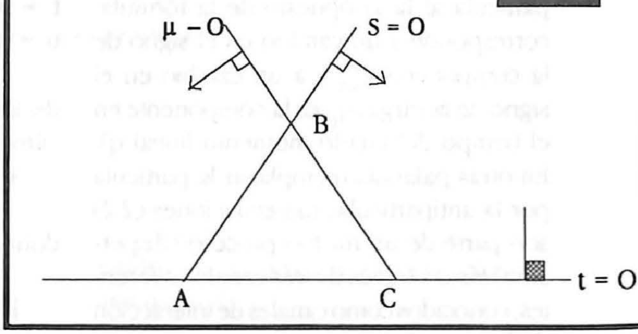
$$(q_a + q_b)^2 = (p_a - p_b)^2 \leq (m_a - m_b)^2 \qquad \mathbf{3.3}$$

teniendo en cuenta las relaciones 3.10 y 3.11 y usando las relaciones en (2.4) obtenemos las siguientes desigualdades :

$$\begin{aligned} (m_1 + m_2)^2 &\leq s \geq (m_3 + m_4)^2 \\ (m_1 - m_3)^2 &\geq t \leq (m_2 - m_4)^2 \qquad \mathbf{3.4} \\ (m_1 - m_4)^2 &\geq u \leq (m_3 + m_2)^2 \end{aligned}$$

los resultados en (3.4) corresponden al canal s. Para obtener los resultados del canal μ basta intercambiar s con u y 2 con 4

FIG. 1



REGIONES FISICAS PARA EL PROCESO K + Π → Π + Π

Primeramente es necesario indicar que tal proceso de interacción entre una partícula extraña (Kaón **K**) y una partícula no extraña como los piones (π) ocurre vía la creación de ciertas partículas intermedias que no necesariamente nos aseguran la conservación de la hipercarga (**Y**).

Si m es la masa del Kaón y v es la masa del pión, tenemos la gráfica de la figura número 2.

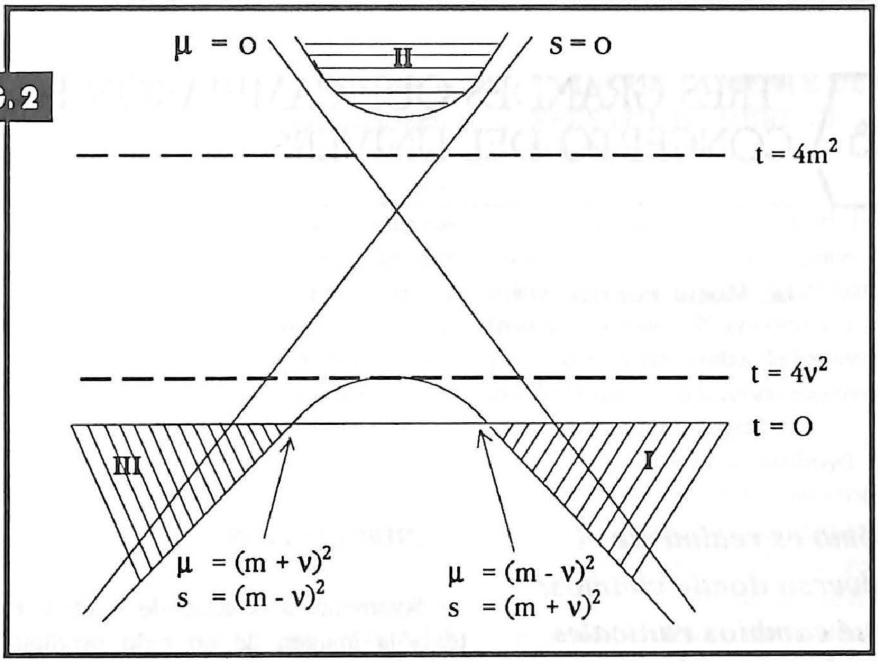
Donde se han usado las relaciones deducidas de las ecuaciones anteriores adaptadas a este proceso :

$$\begin{aligned} stu &= v^2(m^2 - v^2)^2 \qquad \mathbf{4.1} \\ s + t + u &= 3v^2 + m^2 \end{aligned}$$

5) CONCLUSIONES

Como se puede ver, el desarrollo es

FIG. 2



bastante simple y basado sólo en la invarianza relativistica del proceso. Cuando se quiere hallar la sección eficaz asociada con una interacción para todos los valores de s, t, u, es necesario seguir un proceso de integración sobre tales variables en sus regiones de validez respectivas. Hay técnicas muy usadas para la determinación de la sección eficaz como los Diagramas de Feynman que veremos en un próximo artículo. ■

REFERENCIAS

1). T.W. Kible, Relativistics Quantum Mechanics - Pergamon Press.
2). S. Mandelstan, Relativistics Quantum Mechanics.
3). Landau and Lifshitz, Relativistics Quantum Mechanics - Pergamon Press.
4). Cinematique et Symetrie, Giovanni Costa et al. Tome I. Editado por M. Nikolic.