

Variáveis de Mandelstam e sua regiões físicas em colisões no LHC

Shida Gonçalves, Jefferson Taneo (autor/es)
Brenner Mariotto, Cristiano (orientador)
shida.taneo@gmail.com

Evento: Iniciação Científica

Área do conhecimento: Física de partículas

Palavras-chave: relatividade restrita; variáveis de Mandelstam; simetria de cruzamento.

1 INTRODUÇÃO

Dados recentes de colisões de partículas ultrarrelativísticas no Grande Colisor de Hádrons (LHC) tem confirmado o Modelo Padrão de Física de Partículas, baseado na Teoria Eletrofraca e na Cromodinâmica Quântica (QCD), que são teorias quânticas relativísticas[1]. O Bóson de Higgs foi recentemente descoberto, e previsões do Modelo Padrão tem sido confrontadas com uma grande quantidade de dados experimentais. Para o cálculo das seções de choque de produção dos vários estados finais é necessário o tratamento da cinemática envolvida nestas reações de altas energias, e das variáveis que podem ser medidas nos experimentos. Neste trabalho, utilizamos a Teoria da Relatividade Restrita para fazemos um estudo das variáveis cinemáticas; em especial, estudamos as variáveis de Mandelstam e obtemos suas regiões físicas de validade. A simetria entre estas variáveis permite relacionar a amplitude de espalhamento de diferentes processos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Pela relatividade especial de Einstein podemos tratar o tempo como uma nova coordenada e considerar o espaço-tempo, com isso podemos construir um novo vetor posição envolvendo tempo, o quadrivetor $x^\mu = (x_0, x_1, x_2, x_3)$, a componente "0" sendo o produto da velocidade da luz com o tempo, mais as componentes espaciais. Para definir o quadrimomento precisamos da quadri-velocidade, definida

$$\frac{dx^\mu}{d\tau} = u^\mu = \gamma(v) \begin{pmatrix} c \\ \mathbf{v} \end{pmatrix}$$

como . Com o quadri-velocidade podemos agora definir o

$$p^\mu = m u^\mu = (\gamma(v)mc, \gamma(v)m\mathbf{v}) = \left(\frac{E}{c}, \mathbf{p}\right)$$

quadrimomento . Dos quadrimomentos, podemos

definir as variáveis de Mandelstam $s = (p_1 + p_2)^2, t = (p_1 - p_3)^2, u = (p_1 - p_4)^2$ [2].

As amplitudes de espalhamento de um dado processo são escritas em termos das variáveis de Mandelstam, que são invariantes frente a transformações de Lorentz. Isso significa que elas tem o mesmo valor em diferentes referenciais inerciais. Considerando a reação de dois corpos $p_1 + p_2 \rightarrow p_3 + p_4$, ou seja, colisões de duas partículas p_1 e p_2 resultando em duas partículas p_3 e p_4 , podemos analisar três canais representando três reações diferentes, esses canais são chamados canal s, t e u.

Enquanto que o canal s representa a colisão do tipo $p_1 + p_2 \rightarrow p_3 + p_4$, o canal t pode representar a colisão de $p_1 + p_3 \rightarrow p_2 + p_4$, e no canal u temos a colisão

$p_1^+ p_4^- \rightarrow p_3^+ p_2^-$, onde a barra em cima do número indica que se trata de uma antipartícula. Estes processos diferentes são conectados através da simetria de cruzamento, que atesta que estes processos possuem a mesma amplitude[3].

No canal s a variável s representa o quadrado da energia do sistema de partículas e as outras duas variáveis são o quadrado da transferência de quadrimomento. Mas no canal t a variável t passa a ser o quadrado da energia do sistema e as outras são o quadrado da transferência de quadrimomento, e no canal u a variável u é agora o quadrado da energia do sistema e as outras são o quadrado da transferência de quadrimomento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS (ou PROCEDIMENTO METODOLÓGICO)

A metodologia empregada é baseada em cálculos analíticos. Definindo as variáveis de Mandelstam em termos das energias e momentos das partículas iniciais e finais, e utilizando vínculos como conservação de momento relativístico e a relação com os ângulos de espalhamento, deduzimos as regiões físicas de validade destas variáveis. Também definimos as variáveis rapidez, pseudo-rapidez e momento transverso das partículas, que podem ser medidas nos detectores.

4 RESULTADOS e DISCUSSÃO

No canal s, as variáveis tem a região limitada por:

$$s \geq (m_1 + m_2)^2, s \geq (m_3 + m_4)^2, t \leq (m_1 - m_3)^2, t \leq (m_2 - m_4)^2, u \leq (m_1 - m_4)^2, u \leq (m_2 - m_3)^2$$

onde m_1, m_2, m_3 e m_4 são as massas das partículas.

No canal t, as variáveis tem a região limitada por:

$$s \leq (m_1 - m_2)^2, s \leq (m_3 - m_4)^2, t \geq (m_1 + m_3)^2, t \geq (m_2 + m_4)^2, u \leq (m_1 - m_4)^2, u \leq (m_2 - m_3)^2$$

No canal u, as variáveis tem a região limitada por:

$$s \leq (m_1 - m_2)^2, s \leq (m_3 - m_4)^2, t \leq (m_1 - m_3)^2, t \leq (m_2 - m_4)^2, u \geq (m_1 + m_4)^2, u \geq (m_2 + m_3)^2$$

Com esses resultados, mostramos os diferentes domínios de validade destas variáveis no plano de Mandelstam (plano st).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das variáveis de Mandelstam é conveniente no cálculo das seções de choque de produção de partículas, pois são quantidades invariantes. Sabendo a amplitude de espalhamento para um subprocesso em um canal, podemos calcular a seção de choque de outros subprocessos, relacionando essas variáveis.

REFERÊNCIAS

- [1] GRIFFITHS, D. Introduction to Elementary Particles. 2. ed. Weinheim: WILEY-VCH, 2008.
- [2] BYCKLING, E; KAJANTIE, K. Particle Kinematics. London: JOHN WILEY, 1973.
- [3] BARONE, V.; PREDAZZI, E. High-energy particle diffraction. Berlin: SPRINGER VERLAG, 2002.