

# Regularização Implícita aplicada ao estudo da Seção de Choque do Espalhamento Bhabha da Eletrodinâmica Quântica.

Vítor Fernandes Barra<sup>1\*</sup>, Edson Wander Dias<sup>2</sup>

1. Estudante de IC da Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ; \*vitor\_fernandes\_pie@yahoo.com.br

2. Pesquisador do Depto.de Ciências Naturais, DCNAT, São João del Rei/MG

Palavras Chave: *Espalhamento Bhabha, Seção de Choque, Diagrama de Feynman.*

## Introdução

A Teoria Quântica de Campos (TQC) é o arcabouço teórico ideal para o estudo de processos e interações na Física de Partículas Elementares e de Altas Energias, onde é imprescindível levar em conta tanto a natureza quântica da matéria como elementos da Relatividade Especial. Um dos grandes trunfos da TQC é a Eletrodinâmica Quântica (QED), uma vez que seus resultados possuem excelente concordância com os resultados experimentais. Apesar do seu inegável sucesso na descrição das interações fundamentais, as ferramentas matemáticas usadas na TQC frequentemente nos conduzem a inconsistências matemáticas, como a ocorrência de divergências nas amplitudes de probabilidade para processos físicos. Por conta disso, surge a necessidade do emprego dos chamados métodos de regularização e renormalização. Dentre os métodos de regularização mais conhecidos, podemos citar a Regularização Dimensional, a Regularização via *Cut-off* e a Regularização de Pauli-Villars. Qualquer procedimento de regularização pode apresentar vantagens e desvantagens, havendo, entretanto, alguns critérios que devam ser satisfeitos para o sucesso do método, como a preservação de simetrias que a teoria original possui. No final dos cálculos, espera-se que os resultados que possam ser obtidos sejam independentes da regularização empregada. Neste trabalho, apresentamos o cálculo da seção de choque do Espalhamento Bhabha na QED – que é o espalhamento entre um elétron e um pósitron mediado pela troca de um fóton, na primeira ordem da aproximação em loops, usando a chamada Regularização Implícita (RI). RI é um esquema de regularização onde o isolamento das divergências é feito com a aplicação de identidades algébricas nos integrandos dos diagramas de Feynman, sem calculá-las explicitamente, além de manter controle sobre quaisquer termos que possam quebrar simetrias da teoria, como a simetria de calibre na QED. Com a parte finita das amplitudes para cada diagrama de Feynman que contribui para o espalhamento Bhabha, obtemos sua seção de choque por meio da Regra Áurea.

## Resultados e Discussão

A seção de choque de um espalhamento é o principal parâmetro que nos traz informações sobre a estrutura interna das partículas. Seu cálculo é feito a partir da Regra Áurea de Fermi, que leva em conta princípios físicos como a conservação de energia e momento, além de elementos do espaço de fase, fatores estatísticos e probabilísticos, onde destaca-se a amplitude de probabilidade,  $M$ . Para o cálculo de  $M$ , utilizamos o Formalismo Diagramático de Feynman, onde obtemos uma representação pictórica para o processo de espalhamento com base na Lagrangeana da teoria e suas regras de Feynman. Para o Espalhamento Bhabha, construímos vinte e quatro diagramas, sendo dois diagramas nível árvore e os demais na primeira ordem de aproximação em loops. As amplitudes de probabilidade para tais diagramas, em sua grande maioria, são

divergentes e precisam ser regularizadas, a fim de separarmos sua parte finita. Isso foi feito empregando o esquema de RI, onde emprega-se a seguinte identidade

$$\frac{1}{(k-q)^2 - m^2} = \frac{1}{k^2 - m^2} + \frac{2k \cdot q - q^2}{[(k-q)^2 - m^2](k^2 - m^2)}.$$

Tal identidade é aplicada sucessivamente nas expressões diagramáticas, até que a parte divergente das amplitudes não tenha mais dependência com o momento linear das partículas reais, externas ao diagrama. As partes divergentes não são calculadas como em outros esquemas de regularização, sendo apenas eliminadas na renormalização da teoria. Com as partes finitas das amplitudes, calculamos a seção de choque para qualquer espalhamento. Além disso, RI permite identificar termos finitos, porém arbitrários, que são dependentes do esquema de regularização empregado. Tais termos, denominados termos de superfície, são potenciais violadores da simetria de calibre, e, se controlados em todas as etapas do cálculo, também podem ser eliminados no fim do processo pela adoção dos chamados contratermos restauradores de simetria na lagrangeana da teoria. Os resultados evidenciam que a Regularização Implícita é realmente eficaz no isolamento das divergências, e, principalmente, na preservação da simetria de calibre da QED. Além disso, o cálculo da parte finita dos diagramas de Feynman e posterior cálculo da seção de choque para o espalhamento apresenta bons resultados em comparação com os resultados experimentais.

## Conclusões

Calculamos de forma completa a seção de choque do Espalhamento Bhabha da QED em nível árvore e na primeira ordem de aproximação em loops. A Regularização Implícita mostrou-se útil para isolarmos as divergências que surgiram nas amplitudes de probabilidade eliminando a necessidade de calculá-las explicitamente e os resultados obtidos mostraram-se equivalentes aos resultados obtidos com os outros. Entretanto, como desvantagem com relação a outros métodos, a Regularização Implícita gera um número maior de integrais finitas para serem calculadas.

## Agradecimentos

Agradecemos à Pró-Reitoria de Pesquisa (PROPE) da UFSJ pela manutenção do Programa Interno de Iniciação Científica (PIIC), que oferece a oportunidade de atrair alunos para a pesquisa e ao ambiente científico.

[1] Griffiths, D., Introduction to Elementary Particles, John Wiley Sons, Inc. (1987);

[2] Dias, E. W., Generalização do Procedimento de Regularização Implícita para ordens superiores em teorias de calibre abelianas, tese de doutorado, Depto. de Física, UFMH (2008);

[3] Baêta Scarpelli, A. P.; Battistel, O.A.; Nemes, M.C.; Testing a new strategy to treat divergent amplitudes in QED. Brazilian Journal of Physics, v.28, n.3, 1998