

PROJETO DE PESQUISA - INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Aplicações de Aproximações Analíticas para
Decaimentos de Partículas de Vida Longa em Modelos
da Nova Física

Junho, 2022

Resumo

Ao longo das últimas cinco décadas o Modelo Padrão tem tido enorme êxito em descrever uma enorme quantidade de dados experimentais. No entanto, diversas questões permanecem em aberto, como a massa dos neutrinos, a natureza da matéria escura, a inclusão da força gravitacional, entre outras perguntas de grande importância. Em muitas extensões do Modelo Padrão um setor fracamente acoplado (setor escuro) é introduzido, resultando em partículas que podem ser produzidas no LHC e que decaem dentro do detector. Em um projeto anterior foi desenvolvida uma aproximação analítica para o comprimento de decaimento médio de tais partículas no LHC. Tal informação é de grande importância para estudos fenomenológicos. Neste projeto propomos aplicar esta expressão analítica para modelos da nova física. Como resultado esperamos mostrar como a expressão obtida pode ser de grande utilidade para novos estudos na área de fenomenologia além do Modelo Padrão.

1 Introdução

Os físicos no ramo da física de partículas desde sua criação buscam modelos para explicar os comportamentos e as propriedades das partículas elementares, de uma forma que possa incluir os fenômenos e as partículas já observadas e também fazer possíveis previsões teóricas sobre novos fenômenos. Com a ajuda de dados experimentais, como os provenientes de aceleradores de partículas, tais modelos podem ser a sua consistência com os dados experimentais testada. Nos últimos 50 anos o modelo mais sólido desenvolvido, o Modelo Padrão (MP), têm sido testado por uma grande quantidade de dados experimentais e nos fornece diversas ferramentas teóricas para o cálculo de precisão de diversos observáveis. Apesar de toda a evidência em favor do Modelo Padrão, foram comprovadas experimentalmente e teoricamente deficiências no modelo, tal como a existência da matéria escura, a energia escura, a massa dos neutrinos etc.[1]

Motivados por estas questões teóricas e experimentais, novos modelos propõe a incorporação de novas partículas de alta energia na escala GeV-TeV, que podem ser produzidas nos aceleradores de partículas, como o LHC. Porém, até o momento, tais partículas não foram detectadas. Neste contexto, duas possibilidades se apresentam:

- As massas das partículas são maiores que a escala de energia do LHC.
- As novas partículas são fracamente acopladas às partículas do MP, assim tendo uma baixa seção de choque.

Dentro da segunda possibilidade são propostos modelos que preveem novas partículas metaestáveis que podem decair dentro dos detectores. Por conta desse fator essa possibilidade vem sendo amplamente pesquisada[2].

A informação mais valiosa para a realização dessas pesquisas é saber onde procurar essas novas partículas, pois tal informação determina o tipo de sinal produzido pelo decaimento. Portanto o comprimento de decaimento é uma

das propriedades mais importantes para a realização de tais buscas. Porém o comprimento de decaimento varia de evento a evento, devido à dilatação temporal gerada pela velocidade da partícula e à probabilidade (exponencial) de decaimento. Logo, para calcular o comprimento de decaimento é necessário o uso de simuladores de Monte Calor, como o MadGraph5_aMC@NLO e Pythia8, resultando em um alto custo computacional.

Em um projeto anterior obtemos uma aproximação analítica para o comprimento de decaimento médio de partículas metaestáveis. Tal aproximação permite calcular o comprimento de decaimento médio (l_{LLP}) para uma partícula metaestável, após uma série de decaimentos em cascata (ver Figura 1). O comprimento de decaimento pode ser calculado em função do tempo de vida próprio da partícula meta-estável (τ_N) e de sua velocidade (β_N):

$$l_{LLP} = \tau_N \gamma_N \beta_N, \quad (1)$$

onde $\gamma_N = 1/\sqrt{1 - \beta_N^2}$. Demonstramos que a velocidade média da LLP pode ser determinada em termos das massas das partículas que aparecem ao longo do decaimento, de tal forma que l_{LLP} pode ser calculado em termos destas massas:

$$l_{LLP} = F(M_0, M_1, M_2, \dots, M_N; \tau_N) \quad (2)$$

Além disso, demonstramos que os resultados obtidos através da aproximação analítica são satisfatórios, pois possuem erros em média inferiores a 15% de erro relativo. Além disso, o cálculo analítico é extremamente eficiente, com baixíssimo custo computacional.

Neste projeto visamos aplicar a aproximação que obtemos anteriormente para certos modelos de física além do Modelo Padrão. Em particular iremos verificar como os vínculos experimentais provenientes de buscas por partículas meta-estáveis são afetados pela aproximação analítica para o comprimento de decaimento. Desta forma poderemos determinar a utilidade de se utili-

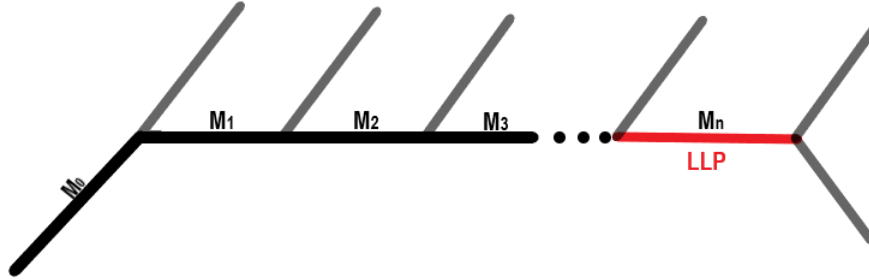


Figura 1: Representação de uma série de decaimentos de partículas instáveis que terminam no decaimento de uma partícula metaestável (LLP) com comprimento de decaimento macroscópico.

zar tal aproximação em ferramentas de simulação que buscam por partículas metaestáveis de novos modelos.

2 Objetivos

O seguinte projeto tem como enfoque principal apurar a aplicação da expressão analítica desenvolvida no projeto anterior, para modelos da nova física. Para tal iremos considerar para buscas por partículas carregas metaestáveis[3, 4, 5], que decaem fora do detector. A eficiência de tais buscas depende da fração de partículas (F_{long}) que decaem com um comprimento de decaimento maior do que o tamanho do detector. Esta fração pode ser calculada exatamente utilizando um gerador de Monte Carlo (MC) e selecionando os eventos onde a LLP decai fora do detector. No entanto, conforme mencionado acima, tal método exige um alto custo computacional. Neste projeto iremos comparar os resultados (exatos) obtidos através de simuladores de MC com os resultados obtidos utilizando-se a aproximação analítica

obtida anteriormente.

3 Metodologia

Para alcançar os objetivos descritos na Seção 2, o aluno deverá estudar em detalhes as buscas experimentais[3, 4, 5] e desenvolver as ferramentas necessárias para reproduzi-las (diversos detalhes técnicos podem ser encontrados em).

Em uma segunda etapa o aluno deverá realizar os cálculos de eficiência utilizando os dados fornecidos pelas colaborações experimentais e eventos produzidos por geradores de MC. A eficiência para um determinado modelo em função do tempo de vida da LLP pode ser calculada como:

$$\epsilon(\tau_{LLP}) = F_{long}(\tau_N)\epsilon_0 \quad (3)$$

onde ϵ_0 é a eficiência para o limite $\tau_N \rightarrow \infty$. Os modelos assumidos para o cálculo das eficiências serão baseados em modelos supersimétricos, que apresentam decaimentos em cascata. Utilizando os resultados experimentais e as eficiências para tais modelos, serão determinados os vínculos experimentais sobre os parâmetros dos modelos, que serão escolhidos como as massas das novas partículas.

Por fim, utilizando a aproximação analítica para o comprimento de decaimento, a fração F_{long} será determinada de maneira aproximada e os limites experimentais serão re-calculados. Desta maneira será possível comparar o impacto das aproximações adotadas sobre os vínculos do modelo.

3.1 Viabilidade de Execução

No projeto anterior o aluno realizou estudos preliminares para o desenvolvimento do projeto e se familiarizou com diversos conceitos de Física de Partículas e colisores. Durante este período o aluno demonstrou capacidade

e independência para realizar a pesquisa proposta neste projeto.

4 Cronograma

Para a obtenção dos resultados acima, propomos o seguinte cronograma:

- Setembro/2022-Novembro/2022: estudo de referências experimentais com buscas por partículas estáveis carregadas[3, 4, 5];
- Dezembro/2022-Fevereiro/2023: desenvolvimento das ferramentas necessárias para o cálculo dos limites experimentais utilizando geradores de MC;
- Março/2023-Abril/2023: Cálculo de limites para alguns modelos supersimétricos;
- Maio/2023-Junho/2023: Cálculo utilizando a aproximação analítica;
- Junho/2023-Agosto/2023: Comparação dos resultados, análise das incertezas e conclusões.

Referências

- [1] A. Bettini, Introduction to Elementary Particle Physics, Second Edition (Cambridge, University of Padua, Italy, 2012).
- [2] J. Alimena, Searching for long-lived particles beyond the Standard Model (Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, ADDRESS, 2020).
- [3] M. Aaboud *et al.*, Phys. Rev. D **99**, 092007 (2019).
- [4] M. Aaboud *et al.*, arXiv:2205.06013 .
- [5] V. Khachatryan *et al.*, Phys. Rev. D **94**, 112004 (2016).