



A Física de Oscilação de neutrinos

Juliana T. de Araújo, Letícia B. da Rosa, Marina B. de Moraes*, Orlando L. G. Peres

Resumo

A física de oscilação de neutrinos surgiu como uma proposta para resolver o problema do desaparecimento de neutrinos vindos do Sol que havia sido observado em diversos experimentos realizados no último século. Essencialmente, essa teoria propõe que um neutrino de um determinado sabor pode oscilar para um sabor distinto ao longo de sua trajetória. Discutiremos como a oscilação de neutrinos ocorre no vácuo e também em um meio com matéria uniforme e não uniforme.

Palavras-chave:

Física de partículas, neutrinos, oscilação de neutrinos.

Introdução

Existem três sabores de neutrino: o neutrino eletrônico, o muônico e o tauônico. Eles são algumas das partículas constituintes do Modelo Padrão, teoria que descreve as partículas fundamentais e suas interações. Em especial, o neutrino eletrônico é abundantemente produzido em reações que ocorrem no interior do Sol, e a taxa de sua produção é muito bem estabelecida pelo Modelo Solar Padrão. Entretanto, no século XX, diversos experimentos buscaram medir o fluxo de neutrinos eletrônicos que chegavam à Terra, mas em todos eles sempre se encontrava um déficit entre o valor que era obtido e a previsão teórica. O desaparecimento desses neutrinos ficou conhecido como o Problema do Neutrino Solar e serviu como motivação para a formulação da teoria de oscilação de neutrinos. Esta teoria propõe que um neutrino de um determinado sabor irá oscilar entre sabores distintos ao longo de sua trajetória entre a fonte e o detector.

O fenômeno da oscilação de neutrinos pode ser estudado inicialmente com uma abordagem simplificada. Em um primeiro momento, estuda-se a oscilação entre dois sabores de um neutrino que se propaga no vácuo. Em seguida, é levado em consideração a interação com a matéria, para a propagação que ocorre em um meio material, que pode ser de densidade uniforme ou não. Finalmente, toda a análise é feita novamente, mas para a oscilação entre três sabores. O objetivo é derivar e compreender as equações que fornecem a probabilidade de ocorrer uma transição entre os sabores.

Resultados e Discussão

Para explicar esse fenômeno, foi proposto a existência de três novos tipos de neutrinos, denominados neutrinos físicos (ν_1, ν_2, ν_3), e que teriam uma massa bem definida, formando o que chamamos de base dos auto-estados de massa. Entretanto, não são com estas partículas que podemos interagir e medir, e sim os neutrinos que já conhecemos (ν_e, ν_μ, ν_τ), que formam a base dos auto-estados de sabor. O que foi proposto é que estes neutrinos poderiam ser descritos como uma superposição de estados quânticos dos neutrinos físicos, relacionando as bases de acordo com a equação apresentada na Figura 1. Chamamos a matriz que relaciona as duas bases de matriz de mistura U.

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} \\ U_{21} & U_{22} & U_{23} \\ U_{31} & U_{32} & U_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

Figura 1. Relação entre as bases de neutrinos.

Sabendo a parametrização da matriz de mistura, é possível calcular a evolução espacial de um neutrino a partir da equação de Schrodinger. A partir disto é calculada a probabilidade de um determinado sabor oscilar para outro, como função da distância e de outros parâmetros, como a diferença de massa dos neutrinos e o ângulo de mistura. Para o caso em que há propagação em um meio material, deve-se apenas adicionar a perturbação adequada à Hamiltoniana na equação de Schrodinger. Assim, alguns dos resultados obtidos são:

$$P_{\nu_e \nu_\mu} = |\langle \nu_\mu | \nu_e(0) \rangle|^2 = \sin^2 2\theta \sin^2 \left(\frac{\Delta}{4E} x \right)$$

$$P_{\nu_e \nu_\mu} = \sin^2 2\tilde{\theta} \sin^2 \left(\frac{\tilde{\Delta}}{4p} x \right)$$

Figura 2. Probabilidades de conversão para a oscilação de dois neutrinos no vácuo e na matéria uniforme, respectivamente.

Conclusões

Este projeto se dedicou a entender o fenômeno de oscilação de neutrinos, o que envolve o cálculo da probabilidade de sobrevivência e de conversão para neutrinos se propagando no vácuo e na matéria uniforme e não uniforme.

Agradecimentos

Agradeço meu orientador e os outros membros do grupo de iniciação científica. Agradeço também o CNPq, pelo suporte financeiro.

¹ Pal, P. B., *Particle Physics confronts the solar neutrino problem*. University of Oregon, 1991.