

Oscilação de Neutrinos com ênfase na violação de carga e paridade do processo

Bianca M. S. de Oliveira*, Maria Gabriela M. Veloso*.

Projeto orientado pelo Prof. Marcelo M. Guzzo e financiado pela FAPESP (processos números 2017/10384-1 e 2017/09937-6).

Instituto de Física Gleb Wataghin UNICAMP.

Resumo

Encontramos no presente Universo uma assimetria entre matéria e antimatéria que é ditada pelas condições de Sakharov, nas quais uma delas é a violação de carga paridade. Um evento que viola carga e paridade é a oscilação de neutrinos, e esse evento é o objetivo de estudo dessa pesquisa. Esse processo consiste na hipótese de que neutrinos de sabor são misturas de três neutrinos físicos de massas bem definidas, e que ao se propagarem oscilam de sabor induzidos pela diferença de massa dos neutrinos físicos.

Palavras-chave:

Oscilação, Neutrinos, Violação CP.

Introdução

O objetivo dessa pesquisa é estudar a oscilação de neutrinos para entender a violação de CP do processo, violação tal que é uma condição de Sakharov para existência de assimetria entre matéria e antimatéria que é encontrada no universo. Esse processo consiste na hipótese de que neutrinos de sabor são misturas de três neutrinos físicos de massas bem definidas, e que ao se propagarem oscilam de sabor induzidos pela diferença de massa dos neutrinos físicos.

$$\mathbf{v}^{(m)} = U\mathbf{v}^{(s)}$$

A matriz de mistura U é a matriz a matriz de Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Suhata (PMNS). Assim, dado um estado inicial conseguimos evoluir ele no tempo a partir da Hamiltoniana do sistema e obter a probabilidade de oscilação e sobrevivência dos neutrinos. Nessa matriz aparece a fase de violação de CP δ , que pode ser obtida através da diferença entre probabilidade de oscilação de um evento e seu conjugado de carga e paridade.

Resultados e Discussão

Conseguimos evoluir o estado dos neutrinos de sabor por:

$$i\frac{d}{dt}\mathbf{v}^{(s)} = UHU^\dagger\mathbf{v}^{(s)}$$

E com isso obtemos a probabilidade de oscilação de um neutrino do elétron para o neutrino do múon por:

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu) = |\langle \nu_\mu | \Psi(x, t) \rangle|^2$$

Assim podemos plotar essa probabilidade para diferentes de δ .

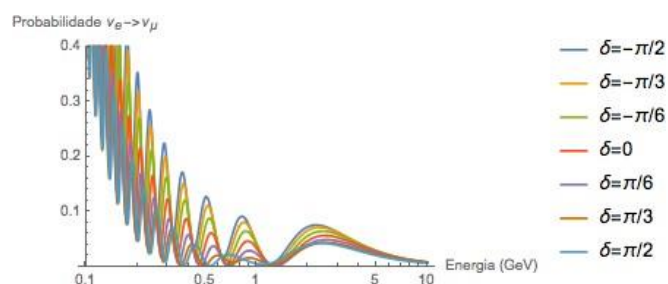


Figura 1. Probabilidade de oscilação do neutrino do elétron para o do múon para diferentes valores de δ .

Analisamos experimentos de neutrinos provenientes de reatores, que produzem radioisótopos por fissão nuclear que sofrem decaimento beta e produzem antineutrino do elétron e obtivemos probabilidade de sobrevivência dada por:

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) = 1 - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2 \frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E_{\bar{\nu}}} - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \frac{\Delta m_{32}^2 L}{4E_{\bar{\nu}}}$$

E vimos que a oscilação ocorre em duas escalas diferentes como podemos ver na Figura 2.

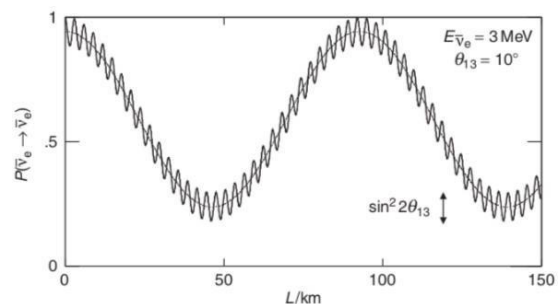


Figura 2. Probabilidade de sobrevivência do antineutrino do elétron pela distância que ele percorre após sair do reator.

Conclusões

Concluimos que a oscilação de neutrinos é uma teoria promissora, coerente com as medidas de fluxos de neutrinos detectadas em experimentos, que nos permite detectar violação de CP, efeito de grande importância na área da astrofísica.

Agradecimentos

Agradecemos ao grupo de estudos de Iniciação Científica em Oscilação de Neutrinos composto pelos alunos Leonardo José Ferreira Leite e Pedro Dedin Neto, e pelos Professores Doutores Marcelo Moraes Guzzo e Orlando Luis Goulart Peres. Além disso agradecemos a FAPESP pelo auxílio, ao Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW) e ao Grupo de Estudo de Física e Astrofísica de Neutrinos (GEFAN) pelo apoio.

¹ Thomson, Mark, Modern particle physics, ISBN 978-1-107-03426-6

² Hiroshi Nunokawa, Stephen Parke and José W. F. Valle, CP Violation and Neutrino Oscillations, arXiv:0710.0554