

Física de Neutrinos na Física de Partículas Elementares

Mateus Marques

Renata Zukanovich Funchal

Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP)

mateusmarques2001@usp.br

Objetivos

Este projeto propõe um estudo teórico e computacional da fenomenologia de neutrinos. Como vemos em [1], o Modelo Padrão (MP) implica que a massa dos neutrinos seja nula. No entanto, pelas oscilações de neutrinos [2], existe uma grande discordância do MP com o experimento. Assim, buscamos entender, simular computacionalmente o fenômeno de oscilação e compararemos nossos resultados com os dados do experimento KamLAND [3].

Métodos e Procedimentos

Nossa abordagem consiste no neutrino interagir apenas em seus autoestados de sabor leptônico (ν_e, ν_μ, ν_τ), ao passo que sua evolução no tempo é descrita por uma hamiltoniana que possui autoestados de massa (ν_1, ν_2, ν_3) diferentes.

No vácuo e no limite ultrarelativístico, a hamiltoniana H é tal que

$$H | \nu_i \rangle = \frac{m_i^2}{2E} | \nu_i \rangle. \quad (1)$$

Realizando a mudança de base para os autoestados de interação de componentes ($\psi_e, \psi_\mu, \psi_\tau$) através da matriz U de Maki-Nakagawa-Sakata [1], adicionando o potencial de interação V e assumindo o ordenamento normal de massas, obtemos a equação

$$i \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \psi_e \\ \psi_\mu \\ \psi_\tau \end{pmatrix} = \left[\frac{1}{2E} U \begin{pmatrix} -\Delta m_{21}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Delta m_{31}^2 \end{pmatrix} U^\dagger + V \right] \begin{pmatrix} \psi_e \\ \psi_\mu \\ \psi_\tau \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Utilizando os parâmetros do grupo NuFIT [4], resolvemos (2) pelo método de Runge-Kutta para o vácuo e obtemos a Figura 1, que descreve as probabilidades de transição para outros sabores leptônicos.

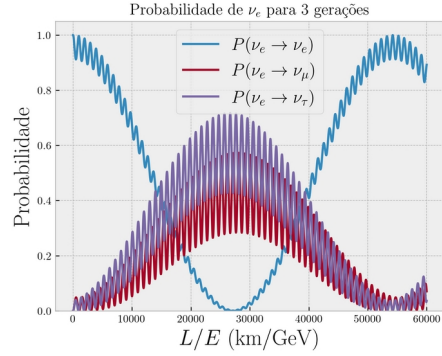


Figura 1: Probabilidade de transição de um neutrino do elétron no vácuo.

No interior do Sol podemos levar em conta somente as interações fracas de corrente carregada com espalhamentos elásticos e coerentes [1], o que nos leva ao potencial

$$V = \text{diag}(\sqrt{2}G_F N_e, 0, 0), \quad (3)$$

onde G_F é a constante de Fermi e N_e é a densidade eletrônica no interior do Sol.

Resultados

A partir de (3), utilizamos os dados do modelo solar BS2005 [5] para interpolar a densidade eletrônica e resolvemos (2) para duas gerações (ν_e, ν_μ) de neutrinos, obtendo a Figura 2:

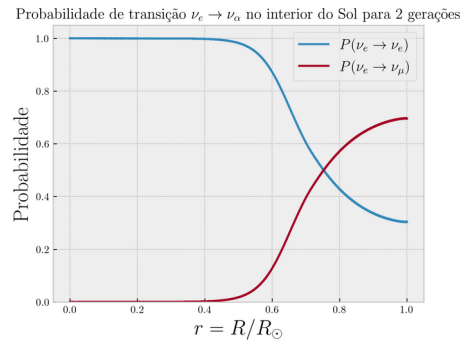


Figura 2: Probabilidade de transição (duas gerações) de um neutrino do elétron no interior do Sol.

Conclusões

Na Figura 2, notamos o decaimento da probabilidade de transição devido à presença de matéria, o que é chamado de efeito Mikheyev-Smirnov-Wolfenstein (MSW) [6]. Este comportamento é bem diferente da Figura 1, sendo o efeito MSW relevante para explicar o fluxo de neutrinos solares que chegam à Terra. No resto deste projeto, pretendemos nos aprofundar nessa análise, fazendo as simulações com a presença de matéria para três gerações e também levar em conta as distribuições de probabilidade de energia e do ponto de produção dos neutrinos. Isso nos possibilitará comparar nossos resultados com o experimento KamLAND.

Referências Bibliográficas

- [1] M. C. Gonzalez-Garcia and Y. Nir, “Neutrino masses and mixing: evidence and implications,” *Rev. Mod. Phys.*, vol. 75, pp. 345–402, Mar 2003.
- [2] Y. Fukuda, T. Hayakawa, E. Ichihara, et al, “Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 81, pp. 1562–1567, Aug 1998.
- [3] S. Abe et al. Search for Solar Flare Neutrinos with the KamLAND detector. *arXiv:2105.02458*, (astro-ph), 5 2021.
- [4] NuFIT Collaboration, “NuFIT website <http://www.nu-fit.org/>,” 2022.
- [5] J. N. Bahcall, A. M. Serenelli, and S. Basu, “New solar opacities, abundances, helioseismology, and neutrino fluxes,” *The Astrophysical Journal*, vol. 621, pp. L85–L88, Jan 2005.
- [6] S. P. Mikheyev and A. Y. Smirnov, “Resonance Amplification of Oscillations in Matter and Spectroscopy of Solar Neutrinos,” *Sov. J. Nucl. Phys.*, vol. 42, pp. 913–917, 1985.