



# Medida do ângulo de Weinberg pelo experimento DUNE

Palavras-Chave: Neutrino, Ângulo de Weinberg, Modelo Padrão

Autores(as):

João Vitor de Souza Fernandes, IFGW – UNICAMP

Prof. Dr. Pedro Cunha de Holanda, IFGW - UNICAMP

## INTRODUÇÃO:

Este projeto de iniciação científica tem por objetivo introduzir o aluno ao modelo padrão da física de partículas com ênfase no estudo de neutrinos e na unificação eletrofraca. Para validar o modelo experimentalmente usaremos o ângulo de Weinberg, um parâmetro do modelo que é utilizado para verificar sua consistência, pois utilizando experimentos como o Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) podemos fazer medições desse parâmetro.

## METODOLOGIA:

A realização deste projeto foi dividido em duas etapas. A primeira parte do projeto consistia no estudo do modelo padrão da física de partículas através do livro “*Introduction to Elementary Particles*” do autor David Griffiths. A segunda parte é reproduzir os dados presentes no artigo “*Measuring the Weak Mixing Angle in the DUNE Near-Detector Complex*” publicado pelos autores André de Gouvêa, Pedro A. N. Machado, Yuber F. Perez-Gonzalez e Zahra Tabrizi no periódico Physical Reviews Letters no ano de 2020.

Durante a primeira parte do projeto estudamos eletrodinâmica quântica e interações fracas juntamente com as regras de Feynman. Pois assim podemos montar diagramas de Feynman como na figura 1 a fim de calcular a secção de choque da interação.

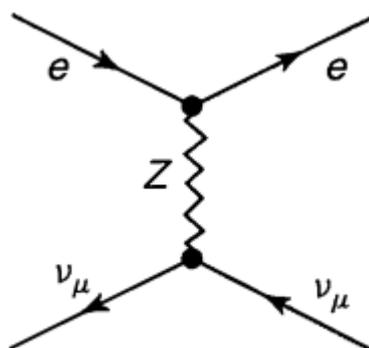


Figura 1 - Diagrama de Feynman da interação de um anti-neutrino muonico com um elétron – fonte: *Introduction to Elementary Particles* Capítulo 9, Página 331

Para a realização da segunda parte do projeto utilizamos a secção de choque e os fluxos de neutrinos fornecidos no artigo para criar um programa em python que reproduza os dados observados no artigo. A equação 1 é a secção de choque fornecida para o espalhamento de neutrinos eletrônicos de elétrons e a figura 2 um dos fluxos de neutrinos utilizados.

$$\frac{d\sigma}{dE_R} = \frac{2G_F^2 m_e}{\pi} \left\{ g_1^2 + g_2^2 \left( 1 - \frac{E_R}{E_\nu} \right)^2 - g_1 g_2 \frac{m_e E_R}{E_\nu^2} \right\}$$

$$\simeq 1.72 \times 10^{-41} \left\{ g_1^2 + g_2^2 \left( 1 - \frac{E_R}{E_\nu} \right)^2 \right\} \frac{\text{cm}^2}{\text{GeV}},$$

Equação 2

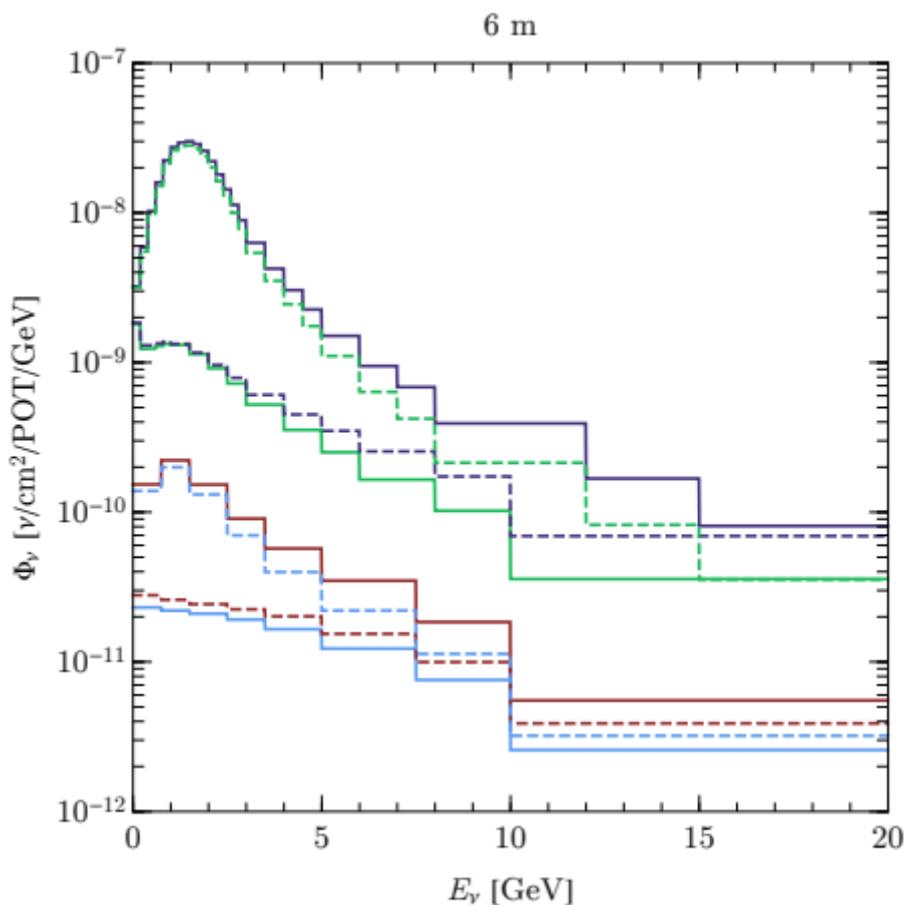


Figura 2 - Fluxo de neutrinos no experimento DUNE a uma distância de 12 m do eixo principal – fonte: [https://journals.aps.org/prl/supplemental/10.1103/PhysRevLett.125.051803/DUNE\\_tw\\_SM.pdf](https://journals.aps.org/prl/supplemental/10.1103/PhysRevLett.125.051803/DUNE_tw_SM.pdf)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O objetivo final deste projeto é replicar os dados encontrados no artigo “*Measuring the Weak Mixing Angle in the DUNE Near-Detector Complex*”. Porém devido ao programa ainda estar em desenvolvimento ainda não somos capazes de replicar precisamente os dados. Na figura 3 encontramos a taxa de eventos do espalhamento de um neutrino eletrônico com um elétron utilizando o programa feito pelo aluno.

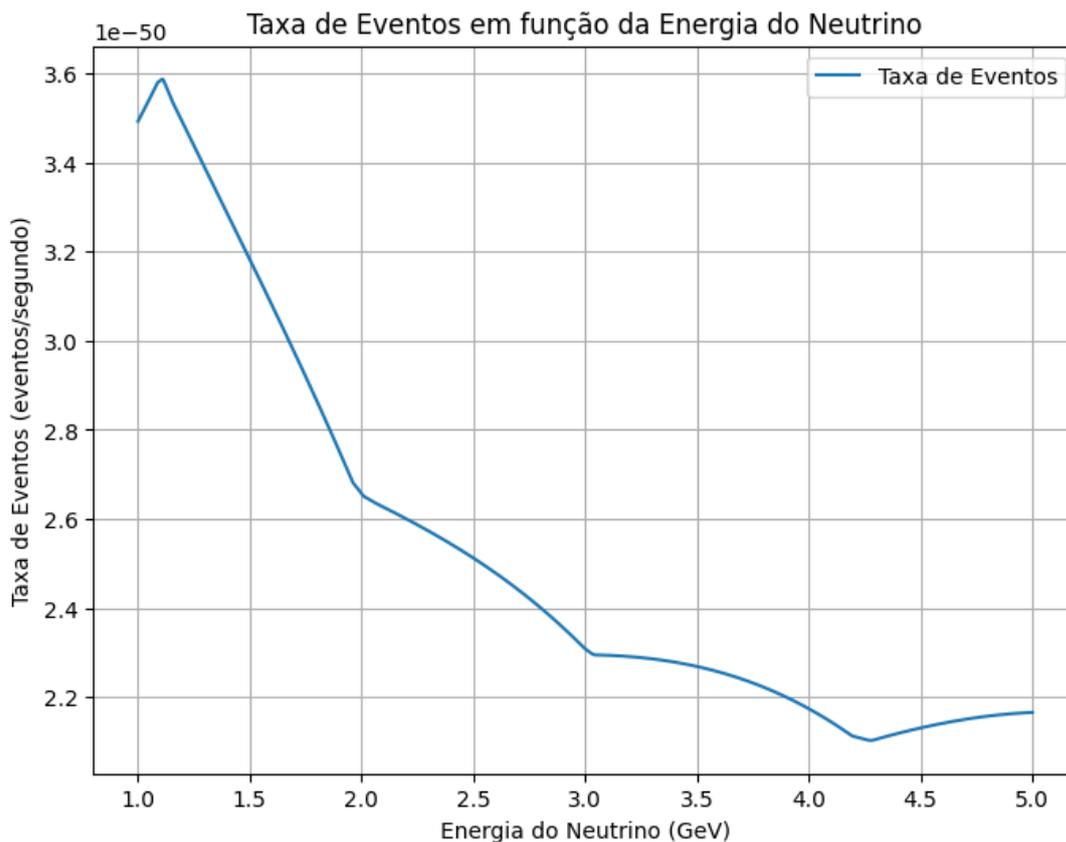


Figura 3 – Taxa de eventos do espalhamento entre um neutrino eletrônico e um elétron em função da energia do neutrino utilizando o programa feito pelo aluno

Nas figuras 4 vemos os resultados que esperamos alcançar.

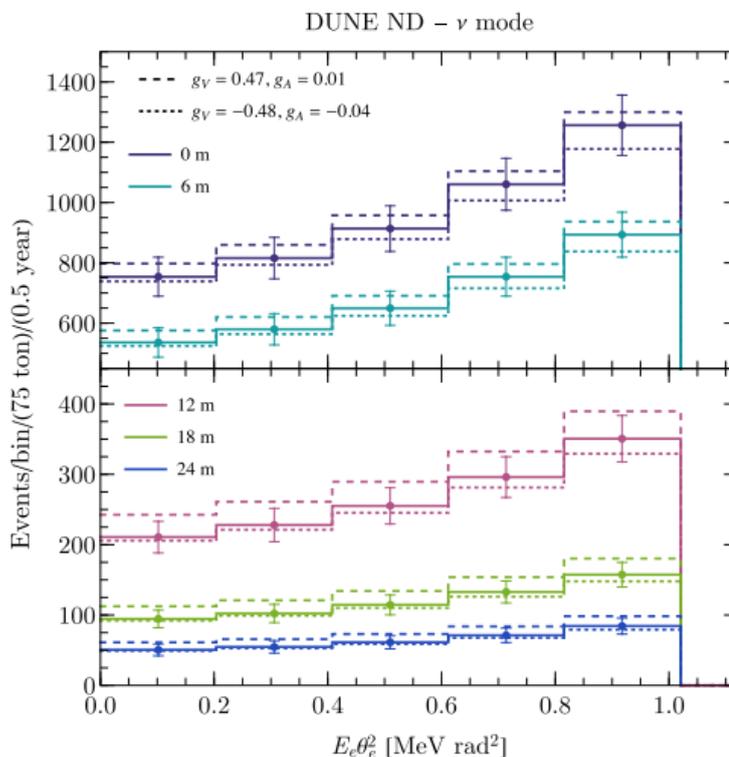


Figura 4 - Taxas de eventos neutrino-elétron em função de  $E_e \theta_e^2$  para as primeiras 5 posições fora do eixo. Para cada posição, os três histogramas correspondem a três pares de acoplamentos vetoriais e axiais ( $g_V, g_A$ ):  $(-0.02, -0.5)$  (linha contínua);  $(-0.48, -0.04)$  (pontilhado); e  $(0.47, 0.01)$  (tracejado). Barras de erro ilustrando os erros estatísticos e sistemáticos estão incluídas para o caso do Modelo Padrão (histograma contínuo). – Fonte: <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.125.051803>

Como podemos observar ainda é preciso ajustar a escala de energia e de tempo. Após obter a taxa de eventos podemos notar que a secção de choque depende de dois fatores  $g_1$  e  $g_2$  que dependem diretamente do valor do ângulo de Weinberg. Como a taxa de eventos é a secção de choque multiplicado pelo fluxo possuindo o fluxo de neutrinos podemos obter uma medida para o ângulo de Weinberg. Sabendo disso esperamos reproduzir os dados da figura 5 apresentados no artigo.

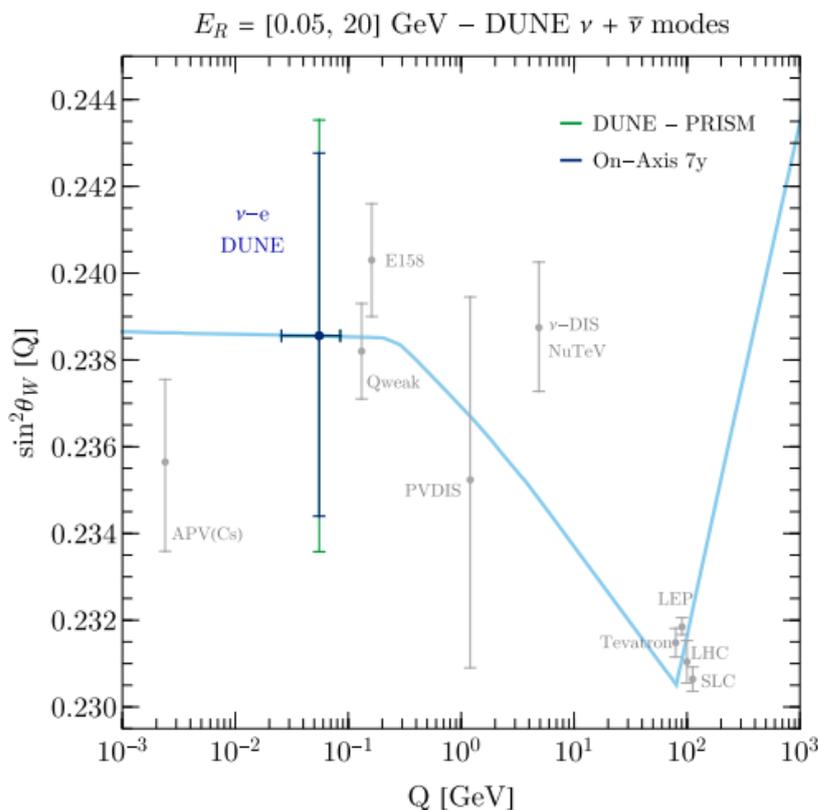


Figura 5 - O valor de  $\sin^2 \theta_W$  no esquema MS (linha azul clara) em função de  $Q$ , obtido a partir de um ajuste aos dados existentes (pontos de dados em cinza), juntamente com as sensibilidades do experimento DUNE em eixo central (ponto de dados azul escuro) e DUNE-PRISM (ponto de dados verde) para este ângulo. As barras de erro horizontais indicam o intervalo de valores de  $Q$  acessíveis à dispersão neutrino-elétron de DUNE. Observa-se que os pontos de dados do Tevatron, LHC e SLC foram ligeiramente deslocados de  $Q = MZ$  para melhorar a legibilidade – Fonte: <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.125.051803>

## CONCLUSÕES:

O projeto ainda se encontra em desenvolvimento, mas esperamos ser capazes de reproduzir alguns dos resultados apresentados no artigo citado ao longo do texto.

## BIBLIOGRAFIA

- Griffiths, David. **Introduction to Elementary Particles**. Weinhein, WILEY-VCH, 2008
- Gouvêa, André de; Machado, Pedro A. N.; Perez-Gonzalez, Yuber F.; Tabrizi, Zahra. Measuring the weak mixing angle in the DUNE Near-Detector complex. **Physical Review Letters**, v. 125, 2020, <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.125.051803>.
- Gouvêa, André de; Machado, Pedro A. N.; Perez-Gonzalez, Yuber F.; Tabrizi, Zahra. Measuring the weak mixing angle in the DUNE Near-Detector complex – Suplementar material. **Physical Review**

**Letters**, v. 125, 2020,

[https://journals.aps.org/prl/supplemental/10.1103/PhysRevLett.125.051803/DUNE\\_tw\\_SM.pdf](https://journals.aps.org/prl/supplemental/10.1103/PhysRevLett.125.051803/DUNE_tw_SM.pdf).