

Influência da Densidade Superficial de P-Terfenil na Eficiência de Filtros

Palavras-Chave: Eficiência, P-Terfenil, X-ARAPUCA

Autores(as):

Lucca Longhitano Pagliuso, IFGW – Unicamp

Dra. Ana Paula Aguiar de Mendonça, IFGW – Unicamp

Roberto Ferreira do Santos, IFGW - Unicamp

Dra. Ana Amélia Bergamini Machado, IFGW – Unicamp

Prof. Dr. Ettore Segreto (orientador), IFGW - Unicamp

INTRODUÇÃO:

O *Deep Underground Neutrino Experiment* (DUNE) será um experimento conduzido pelo *Fermi National Accelerator Laboratory* (Fermilab) para estudar o fenômeno de oscilação de neutrinos de longo alcance. Esse fenômeno ocorre quando um neutrino, emitido em um dado sabor (múon, tau ou elétron), ao percorrer uma certa distância, é detectado em um novo sabor. O dispositivo optoeletrônico X-ARAPUCA (Figura 1) tem um papel fundamental no sistema de foto detecção do experimento, uma vez que é responsável pelo aprisionamento e conseqüente detecção da luz de cintilação emitida pela interação do neutrino com o meio dielétrico de argônio líquido, da ordem de 128 nm. Ao incidir na janela de entrada do dispositivo, o fóton encontra um filtro dicróico evaporado com o substrato P-Terfenil (PTP), que atuará como um deslocador de comprimento de onda (WLS: Sigla em inglês para Wavelength Shifter), convertendo o fóton para um valor acima do limiar de corte do filtro (*Cutoff*) [1][2], possibilitando sua entrada no dispositivo. Posteriormente, o fóton encontrará um guia de luz, que atuará como segundo WLS, impossibilitando o fóton de sair da X-ARAPUCA e o guiando para dois foto sensores, Fotomultiplicadoras de Silício (SIPM: Sigla em inglês para Silicon Photomultiplier), que serão capazes de fornecer uma corrente elétrica de forma analógica proporcional à quantidade de fótons detectados [3].

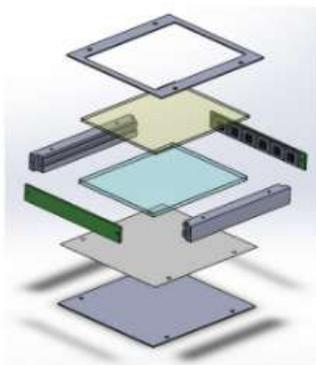


Figura 1 – Esquemático 3D da montagem do dispositivo optoeletrônico X-ARAPUCA [1].

Devido à sua baixa seção de choque, neutrinos dificilmente interagem com o meio, portanto é importante que a X-ARAPUCA apresente a maior eficiência de detecção possível, o que está diretamente atrelado à capacidade de entrada e manutenção dos fótons de cintilação por parte de seu filtro dicróico evaporado com PTP. Por isso, estudar o processo de evaporação e aderência do substrato ao filtro, é essencial para garantir uma maior eficiência da X-ARAPUCA [4].

Para isso, dez amostras foram evaporadas no Laboratório de Léptons, no Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas, utilizando a técnica de evaporação à vácuo. Os filtros foram dispostos na câmara de maneira gradual ao longo do raio, uma vez que peças mais próximas ao centro apresentam uma maior camada de substrato depositada, o que diminuí gradualmente ao longo do raio. A pesagem prévia e posterior à evaporação garantia o controle da densidade de material depositado na superfície de cada amostra. Utilizando um monocromador à vácuo e uma lâmpada de deutério com emissão na faixa UV, foi possível definir um método sistemático e normalizado de estudar a influência da densidade superficial de PTP em cada amostra, com a eficiência de cada filtro.

METODOLOGIA:

Com o objetivo de estudar a influência da densidade superficial PTP com a eficiência, um filtro foi cortado em aproximadamente dez amostras menores, de tamanho 10x10mm. Tais amostras foram evaporadas na evaporadora à vácuo presente no Laboratório de Léptons (Figura 2), onde de maneira controlada foram dispostos ao longo do raio do disco, uma vez que era conhecido que amostras mais próximas ao centro obtinham uma maior concentração de material. A pesagem do filtro antes do corte, assim como a medida de suas dimensões, possibilitou o cálculo de sua densidade superficial, valor este que foi utilizado em conjunto da massa individual de cada amostra, antes da evaporação, para definição da área superficial de cada amostra. A comparação do valor da massa de cada filtro antes e depois da evaporação fornece a massa de PTP depositada na superfície, valores utilizados para o cálculo da densidade superficial de cada amostra. Por apresentarem uma foto sensibilidade passível de degradação, os filtros foram armazenados em uma caixa própria, sempre manuseados no escuro.



Figura 2 – Evaporadora a vácuo presente no Laboratório de Léptons.

O aparato escolhido para testes foi construído a partir de um monocromador a vácuo da empresa Horiba Scientific (Figura 3), capaz de selecionar feixes monocromáticos com precisão de 1 nm. Dois micrômetros são responsáveis por controlar a abertura da fenda do feixe incidente e resultante, o que altera respectivamente a qualidade e intensidade da luz monocromática que chega na câmara de análise. Como o objetivo era estudar a eficiência em um espectro próximo à luz de cintilação do argônio líquido, uma lâmpada de Deutério modelo C9935 da empresa Hamamatsu, com boa emissão na faixa UV, foi atrelada ao sistema. Para resfriar a lâmpada durante os testes, foi utilizado um resfriador a água. Uma bomba mecânica e duas turbo moleculares são responsáveis pelo vácuo primário e secundário,

respectivamente, no monocromador e na câmara de análise, separadamente, para que fosse possível a manutenção do vácuo no monocromador durante o processo de troca de filtros.



Figura 3 – Monocromador utilizado para testes de eficiência com as amostras, localizado no Laboratório de Léptons.

O feixe incidente na câmara encontrava uma estrutura mecânica (Figura 4), feita por impressão 3D especificamente para esses testes, passível de ser rotacionada através de um motor de passo controlado por Arduino. Na posição central era sempre mantido um filtro de referência e na quinta posição (50°), a amostra de teste. Após a passagem pelos filtros, o feixe de luz encontrava uma placa com quatro SiPMs soldados, atrelados a uma eletrônica construída para filtragem e amplificação de sinal e proteção do osciloscópio, por onde o sinal era coletado. Um aplicativo feito em Python possibilitava a varredura do monocromador no espectro [120, 160] nm, com intervalos de 1 nm, onde para cada comprimento de onda era coletada a média do sinal em um intervalo de 3s, assim como o desvio padrão, retirados da baseline (Sinal Escuro).



Figura 4 – Imagem do suporte mecânico para o filtro de referência (central) e de teste (à esquerda).

Um segundo código em Python foi utilizado para análise de resultados, com a construção dos gráficos de amplitude em função do comprimento de onda para cada amostra e referência. A eficiência foi definida como a melhor constante “x”, pela técnica de Chi-Quadrado, capaz de minimizar a distância entre os pontos do espectro da referência com o da amostra, como visto na equação 1.

$$F(x) = \sum_i \frac{(Amplitude_{REF,i} \cdot x - Amplitude_{Amostra,i})^2}{(DP_{REF,i} - DP_{amostra,i})^2 + DP_{Wavelength}}$$

Equação 1: Equação para obtenção da melhor eficiência “x”, pela técnica de Chi-Quadrado, por meio da minimização entre a distância do espectro da amostra com o de referência.

RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÃO:

O gráfico presente na Figura 5 retrata o padrão encontrado em todas as coletas de dados, separadamente para o filtro mantido como referência e para uma das amostras, no caso nominada OPTO P9. O padrão crescente até 160 nm é observado devido ao espectro de irradiância da luz no

intervalo, com um pico bem intenso e característico em 160,8 nm. O padrão também está atrelado à eficiência de detecção de luz dos SiPMs ao longo do espectro, pois, ao passar pelo filtro, os fótons que chegam aos foto sensores já se encontram convertidos para valores acima de 350 nm, com um pico de eficiência de detecção por parte do modelo de Fotomultiplicadora utilizada em 450 nm.

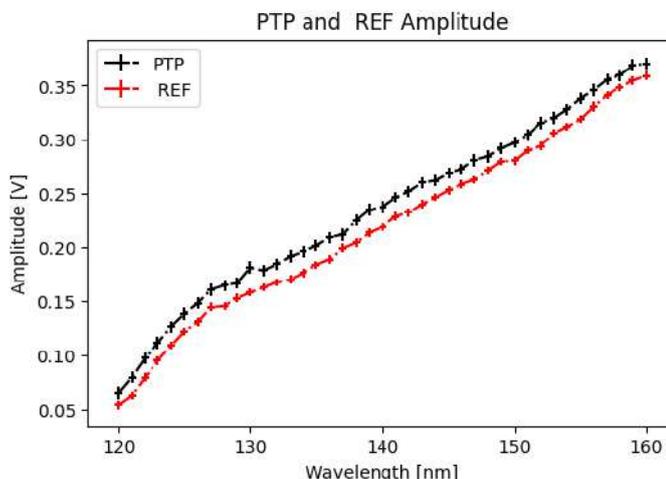


Figura 5 – Amplitude em função do comprimento de onda para a amostra OPTO P9 (preto) e REF (Vermelho).

Nas Figuras 6, observa-se o ajuste para o cálculo de eficiência, no intervalos de [120, 135] nm. A utilização de tal intervalo garantiu um melhor encaixe entre os padrões encontrados e, conseqüentemente, um valor de eficiência mais confiável. Por ser um teste comparativo, variações gerais do ganho dos foto sensores e do posicionamento da estrutura mecânica entre testes não deveriam influenciar no resultado encontrado. Entretanto, ruídos primários e elétricos do sistema tendem a, ao longo do processo, diminuir a confiabilidade dos sinais encontrados. Visto isso, concomitantemente com os testes, uma série de melhorias e aprimoramentos na parte optoeletrônica do sistema são realizadas para garantir resultados mais confiáveis e um aparato experimental mais duradouro.

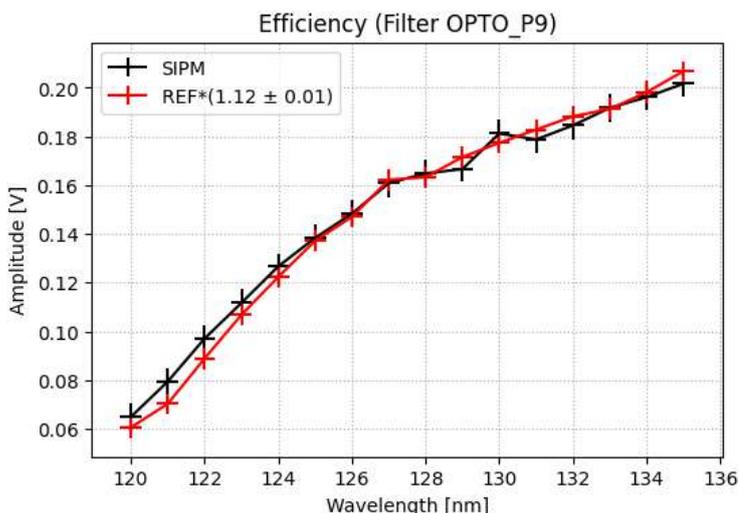


Figura 5 – Ajuste de encaixe entre as curvas, no intervalo de [120, 135] nm, através da técnica de Chi-Quadrado.]

Os testes estão atualmente em fase de andamento no Laboratório de Léptons. Os resultados preliminares sugerem que a densidade superficial de PTP nos filtros influenciam significativamente a eficiência do dispositivo. Para aprofundar a análise, serão realizadas investigações sobre a estrutura cristalina, a espessura, e a rugosidade, com o objetivo de compreender melhor a disposição molecular do PTP no substrato e seu impacto na eficiência.

CONCLUSÕES:

Neste estudo, investigamos a influência da densidade superficial de P-Terfenil (PTP) na eficiência de filtros do dispositivo optoeletrônico X-ARAPUCA, crucial para a detecção de neutrinos no experimento DUNE. Através de um método sistemático de evaporação à vácuo, realizamos a deposição controlada de PTP em dez amostras, variando a densidade superficial ao longo do raio do filtro. Utilizando um monocromador a vácuo e uma lâmpada de deutério, medimos a eficiência de cada amostra ao longo do espectro UV, focando na faixa de 120 a 160 nm.

Até o momento, a metodologia e os testes preliminares demonstraram a eficiência do setup criado para estudar a influência da densidade superficial de P-Terfenil (PTP) nos filtros do dispositivo X-ARAPUCA. A abordagem sistemática de evaporação à vácuo e as medições utilizando o monocromador a vácuo indicaram que o aparato experimental é capaz de realizar as medições com a precisão necessária.

Os resultados iniciais são promissores e sugerem que a variação da densidade superficial de PTP pode impactar a eficiência dos filtros. No entanto, mais testes são necessários para confirmar esses achados e para refinar ainda mais o processo de deposição e medição. A continuidade dos experimentos e a implementação de melhorias no sistema experimental são essenciais para garantir resultados conclusivos e robustos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Machado, A. et al. **The X-ARAPUCA: na improvement of the ARAPUCA device.** Journal of Instrumentation, 2018
- [2] Machado; A., Segreto; E., **ARAPUCA a new device for liquid argon scintillation light detection.** Journal of Instrumentation, 2016
- [3] AvandSID, **Introduction to SiPMs**, 2014
- [4] E. Segreto, et al. **Enhancement of the X-Arapuca photon detection device for the DUNE experi-**