

# EFEITOS PROVOCADOS PELA RADIAÇÃO IONIZANTE NO GRAFITE PIROLÍTICO

*Kauê Manoel da Costa<sup>1</sup>, Marcilei Aparecida Guazzelli<sup>2</sup>, Luís Humberto Avanzi<sup>3</sup>*  
 Departamento de Física, Centro Universitário FEI  
 kauemanoel1997@hotmail.com, marcilei@fei.edu.br, lhavanci@fei.edu.br

**Resumo:** Este projeto de pesquisa, propõe a caracterização de amostras finas de grafite Pírolítico Altamente Orientado (HOPG – *Highly Oriented Pyrolytic Graphite*), observando as variações estruturais que estão relacionadas com a condutividade térmica do material e sondar o tempo de vida útil do material.

## 1. Introdução

Com difícil detecção, pouca interação e com massa muito pequena, os neutrinos fazem parte da inúmeras partículas que estão presentes na natureza. Com objetivo de sondar sua natureza e determinar sua massa efetiva, o projeto NUMEM (Nuclear Matrix Elements in Neutrinoless Double Beta Decay) - coordenado pelo professor Francesco Cappuzzello no laboratório de Catania localizado na Itália - realiza uma investigação experimental por meio de resposta nuclear a partir das reações de troca de carga dupla (Duble Charge Exchange – DCE) para todos os isótopos explorados por estudos atuais e futuros provenientes do decaimento dupla beta  $0\nu\beta\beta$  (Double Beta Decay). [1,2]

Para este estudo experimental, há dois modelos teóricos, um descrito por Ettore Majorana e outro pelo físico Paul Dirac, ambos concorrem para justificar os resultados e espera-se validar um destes modelos. Importante destacar que este é um caso de física que está entre as pesquisas mais importantes para a ciência “além do Modelo Padrão” e pode guiar o caminho em direção a uma Grande Teoria Unificada de interações fundamentais e desvendar a fonte da assimetria matéria-antimatéria observada no Universo. [1,2]

Para a realização experimental, o projeto conta com o uso de um substrato acoplado ao alvo onde corre as reações nucleares. Um dos desafios experimentais associado ao estudo está no fato de que o alvo está exposto diretamente a um fluxo de íons provenientes do feixe que ao penetrá-lo durante toda a sua espessura provocará um aumento excessivo de temperatura podendo inviabilizá-lo. Por essa razão, escolheu-se o Grafite Pírolítico Altamente Orientado como material de substrato, uma vez que este apresenta alta condutividade térmica e ficará acoplado junto ao alvo com a finalidade de dissipar a grande quantidade de calor presente. [1,2,3]

Os átomos na rede cristalina do Grafite Pírolítico Altamente Orientado se organizam formando uma estrutura cristalina com célula unitária na forma hexagonal. Sua estrutura apresenta um alto grau de cristalinidade e ordenação, além disso o material apresenta anisotropia, no qual suas propriedades físicas apresentam resultados distintos dependendo da direção do plano que for medida. [4]

Assim, o objetivo deste trabalho é investigar as propriedades estruturais do grafite pírolítico, utilizando simulação computacional com o software SRIM/TRIM

alterando os parâmetros que são de interesse do projeto NUMEN e encontrar o tempo de vida útil do material.

## 2. Materiais e Método

### 2.1. Caracterização da amostra virgem

Submetendo a amostra virgem do material Grafite Pírolítico Altamente Orientado à difração de raio X, tem-se por objetivo inicial determinar, para a amostra em estudo: i) o número de camadas axiais que compõe a amostra; ii) os parâmetros da rede cristalina.

### 2.2 Simulação com software SRIM/TRIM

O uso do software SRIM/TRIM permite calcular a integral de espalhamento que um íon sofre ao colidir com meio material, podendo atravessar este meio ou ser freado. Sendo este fenômeno de natureza estocástica, o software utiliza método numérico de Monte Carlo para resolver a equação 01 que foi desenvolvida com o uso de tabelações e parametrizações semi-empíricas de Northcliff e Schilling e de Ziegler, Bismark e Littmark, que permitem descrever valores médios de transferência de energia que a partícula deixa ao atravessar o meio. [5]

$$\theta = \pi - 2 \int_{x_0}^{\infty} \frac{br dx}{x^2 \left[ 1 - \frac{\phi(x)}{x\epsilon} - \frac{br^2}{x^2} \right]^{1/2}} \quad (01)$$

onde  $\theta$  é o ângulo de espalhamento,  $x$  é o espaço percorrido pelo íon,  $\epsilon$  é a energia reduzida de Lindhard e  $b'$  é parâmetro de impacto.

Além disso, o software permite a introdução vários parâmetros de entrada tais como: energia do feixe (podendo variar na ordem de keV até MeV), a natureza atômica do íon incidente, o número de íons que são provenientes do feixe, a espessura do alvo e sua natureza química, além da possibilidade de acrescentar substratos subsequentes ao alvo. Assim, o software calcula a energia transferida proveniente do feixe de íons incidentes para os átomos do alvo e energia absorvida por átomos alvo bem como as vacâncias geradas pelas colisões realizadas pelos íons ou pelos recuo (deslocamento do átomo da rede cristalina da sua posição original) dos átomos da rede. Com isso, é possível realizar a simulações que são de interesse do projeto NUMEN.

## 3. Resultados

Para a análise da amostra virgem, foi possível obter a Figura 01 no qual utilizando-se emissão de fótons a fim de obter o fenômeno de difração e encontrar a pico característico referente a amostra de HOPG.

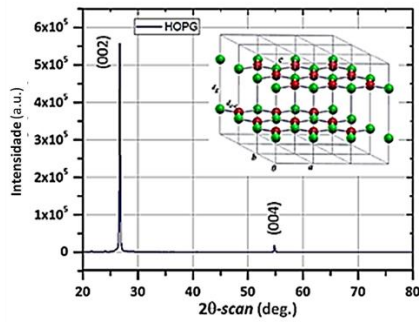


Figura 01: – Difração de Raio X para o HOPG e sua estrutura cristalina. Fonte: autor.

Para a simulação foram realizados 4 testes no qual manteve-se constante o feixe de oxigênio com energia 300MeV e 10.000 íons variando outros parâmetros descritos na tabela 01.

Tabela 01 – Parâmetros utilizados na simulação

Simulação	Alvo (Sn)	Buffer (Cr)	Substrato (C)
B4	0,4 μm	-----	5μm
A16	0,4 μm	-----	10 μm
C7	0,4 μm	0,04 μm	2 μm
C8	0,4 μm	-----	2 μm

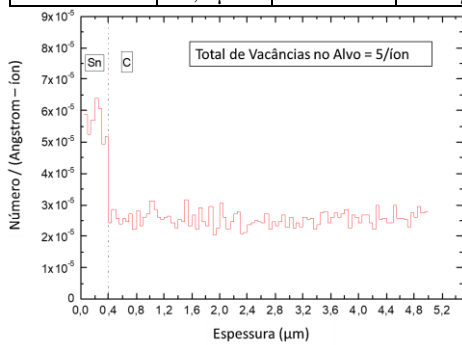


Figura 02: – Simulação B4 Fonte: autor.

A partir da figura 01 depreende-se que a amostra apresenta um alto grau de pureza e alto grau de ordenação dos átomos na rede cristalina do material em análise sendo este resultado compatível com a literatura, evidenciando o pico característico da difração para a amostra.

A figura 02 apresenta a energia que os íons do feixe deixam ao penetrar o material, dela é possível observar que a partícula atravessa toda a espessura do material e resulta em uma grande quantidade de vacância no substrato com o total de 5/íon.

Para as outras simulações a situação não são muito distintas, pois com uma energia alta no feixe (300 MeV) os íons de oxigênio atravessam toda a espessura da amostra resultando em uma grande quantidade vacâncias geradas nessas interações íon/átomo. Cada simulação apresentou uma variação no número de vacâncias por íons devido à espessura utilizadas, sendo elas: Simulação A16 10 /íon; Simulação C7 2/íon; Simulação C8 3/íon.

Assim, todas as simulações comprovam que utilizando os parâmetros descritos, uma grande quantidade de defeitos (vacâncias) na rede cristalina do

material foram formadas após ser irradiada. isso interfere significativamente na condutividade térmica do material pois segundo a literatura [6], o HOPG realiza a transferência de calor por meio dos fônons e este está relacionado com vibração e a geometria da rede e após uma pequena quantidade de defeitos a condutividade térmica diminui exponencialmente.

#### 4. Conclusões

Os resultados do Projeto NUMEN, do qual a FEI participa juntamente com inúmeras instituições de ensino e pesquisa internacionais, dependem da integridade do grafite pirolítico altamente orientado. Desta forma, caracterizar o grafite pirolítico quando submetido às condições próximas àquelas em que ele será utilizado no NUMEN é de importância fundamental para o projeto.

Para este projeto de iniciação científica sabe-se que a condutividade térmica do HOPG será danificada devido a grande quantidade de vacâncias criadas no material após ser exposto ao feixe íons, porém ainda não foi possível obter o tempo em função da diminuição da condutividade térmica que o material sofre após a irradiação.

#### 5. Referências

- [1] Cappuzzello, F., Agodi, C., Cavallaro, M. et al. The NUMEN project: Nuclear Matrix Elements for Neutrinoless. Acesso: 23/09/2021.
- [2] C. Agodi, et al., Determining the Nuclear Matrix Elements of Neutrinoless Double Beta Decays by Heavy-Ion Double Charge Exchange Reactions. Acesso: 25/09/2021.
- [3] Pinna, F et. al. Conference on Neutrino and Nuclear Physics (CNNP2017) IOP Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1056 (2018) 012046; Acesso: 25/09/2021.
- [4] HOPG. Disponível em: <<http://nanoprobes.aist-ni.com/apps/HOPG%20info.htm>>. Acesso: 30/09/2021.
- [5] Aguiar, Vitor. et all. Instrumentação nuclear e efeitos de radiação em dispositivos eletrônicos, *XX Escola de verão Jorge André Swieca de Física Nuclear experimental*, p.254-257,2018. Acesso: 30/09/2021.
- [6] Baladim, Alexander A. *Thermal Properties of Graphene, Carbon Nanotubes and Nanostructured Carbon Materials*. 2011. University of California. Acesso: 30/9/2021.

#### Agradecimentos

Ao Centro Universitário FEI, a Universidade de São Paulo, Projeto INCT e CNPQ pelos laboratórios e equipamentos para realização de medidas.

\*Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 10/20 a 09/21.