

X-ARAPUCA Test and Characterization

Palavras chave: X-ARAPUCA, luz de cintilação, fonte alfa, manipulador magnético

Aluna: Patrícia Duarte de Almeida

Orientador: Ettore Segreto

*Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia
Instituto de Física Gleb Wataghin – UNICAMP*

1 Introdução

O neutrino é a segunda partícula mais numerosa no universo, porém dificilmente é detectado, dado que interage somente com a matéria através da força fraca. Muitos físicos realizam experimentos com o intuito de detectá-lo e, assim, conhecer melhor as suas propriedades. Um dos maiores experimentos em física de partícula em planejamento na atualidade é o *Deep Underground Neutrino Experiment* (DUNE), que irá estudar os neutrinos resultantes de super novas e outros eventos astronômicos. Além disso, o experimento também envolve produção de neutrinos em aceleradores. O princípio de detecção se baseará na interação dos neutrinos com um meio, o argônio líquido, e irá gerar luz por intermédio da sua cintilação. O dispositivo que será utilizado foi desenvolvido pelos pesquisadores Ettore Segreto e Ana Amélia Machado e é chamado ARAPUCA. Ele aprisiona fótons em seu interior e detecta-os através de um dispositivo foto-sensível. Suas paredes internas são altamente reflexivas e o seu funcionamento baseia-se em dois *Wavelength Shifters* (WLS) separados por um filtro dicróico.

Um aperfeiçoamento desse dispositivo é a X-ARAPUCA, o equivalente de uma ARAPUCA em que WLS interno agora está incorporado a uma barra de acrílico, com dispositivos foto-sensores acoplados em um ou mais dos seus lados. Nosso projeto pretende testá-lo e caracterizá-lo. Analisaremos a sua eficiência ao variarmos a sua distância de uma fonte alfa. Tal variação será dada por um manipulador magnético, que nos permite variar a posição da fonte ao longo do comprimento do dispositivo. Isso é feito manipulando uma haste com ímãs, externa a um criostato onde está todo o sistema utilizado.

2 Atividade de Pesquisa

O projeto foi todo realizado de forma remota, dado que a pandemia de COVID-19 não permitiu que o estudante estivesse presente no laboratório, devido a isso, infelizmente, o projeto não pôde ser concluído. Atividades presenciais possíveis de serem realizadas foram executadas pelo professor Ettore Segreto e pelo Frederico Luciano Demolin, engenheiro técnico do Laboratório de Léptons.

Desenvolvemos o manipulador de maneira que primeiramente elaboramos o manipulador magnético, o suporte para a fonte alfa e, por último, ambas peças conectadas no *setup* completo. Não pudemos completar a sua montagem, porém estamos com as peças prontas para isso no laboratório aguardando uma condição sanitária segura para todos. As imagens que serão apresentadas foram geradas a partir do *software Autodesk Inventor Professional*.

2.1 Manipulador Magnético

O manipulador magnético é dado por um pistão em um tubo de aço inoxidável em que colocaremos 4 ímãs de neodímio, sendo 2 internos e 2 externos. Entre eles, terá um fragmento de aço para facilitar a condução do campo magnético de um ímã para outro. Já do lado externo, teremos um anel de formato cilíndrico que, além de servir como suporte para fonte alfa, também irá estabilizar o campo magnético. Tal formato para este foi escolhido com o intuito de reduzirmos o atrito durante o movimento. Nas extremidades do pistão temos que: a parte inferior será vedada e, na superior terá uma flange CF150. A cabeça do mesmo será de *teflon*. O movimento do sistema será realizado do lado de fora do criostato e se dará ao movimentarmos a haste do

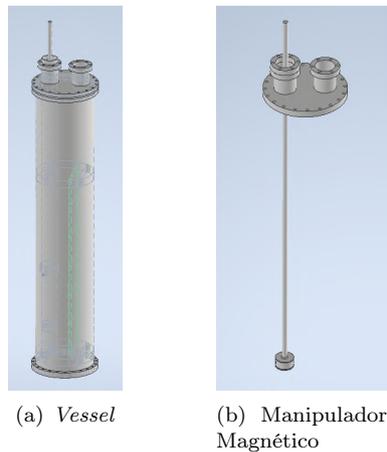


Figura 1: *Imagens do sistema que será utilizado*

pistão, que levará a movimentação da cabeça do mesmo e, assim, a variação de posição entre a fonte alfa e a X-ARAPUCA.

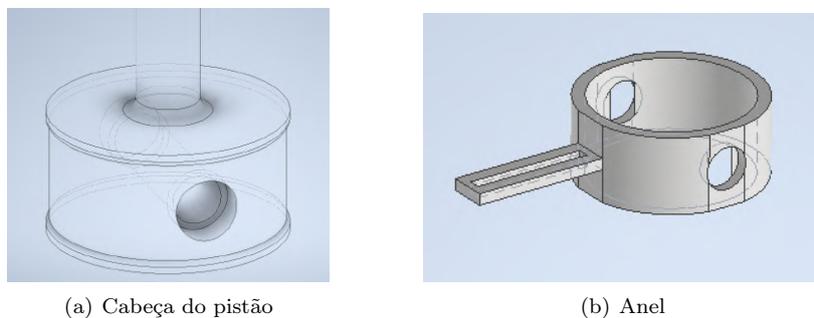


Figura 2: *Imagens apresentando a cabeça do pistão e o anel, respectivamente*

Nos testes, será utilizado um criostato de $1,49m$ de altura, onde estará uma peça que terá a mesma função de um criostato, porém em tamanho menor ($75cm$ de comprimento, $15cm$ de diâmetro). Chamamos essa peça de *vessel* e nela colaremos o manipulador magnético.

2.2 Suporte para a fonte alfa

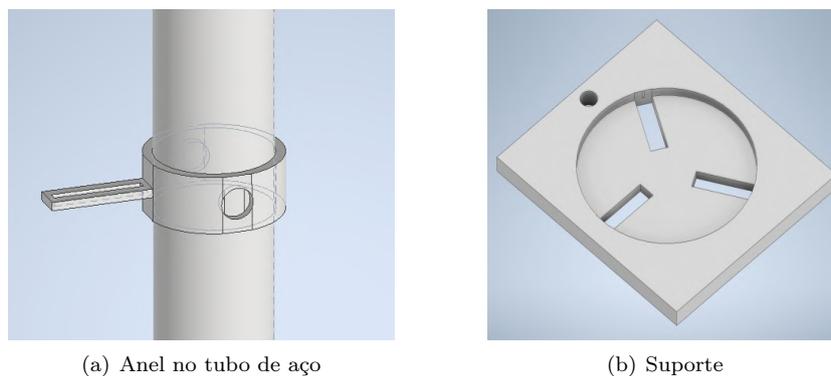


Figura 3: *Suporte para a fonte alfa*

O suporte será preso a um braço conectado ao anel que estará do lado externo ao tubo de aço inoxidável. Ele será produzido em uma impressora 3D com PLA (poliácido láctico). É importante ressaltar que a distância entre a fonte alfa e a X-ARAPUCA deve ser definida antes de toda a peça ser inserida no criostato. O intervalo que iremos trabalhar será $7mm$ a $30mm$.

2.3 Setup Completo

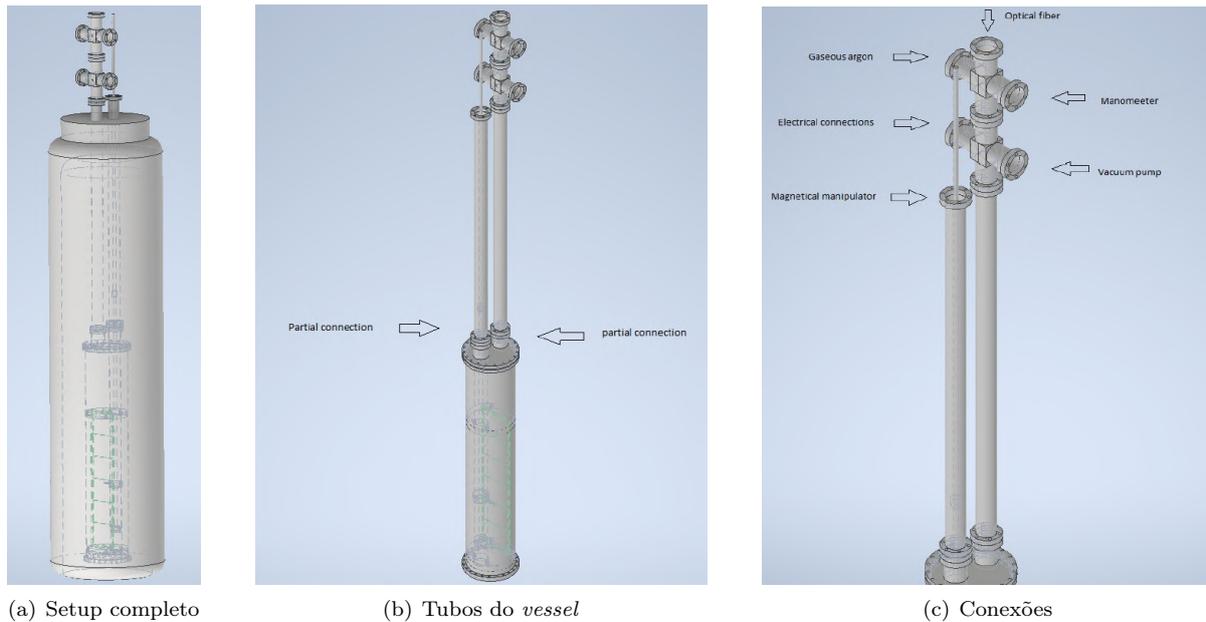


Figura 4: Sistema que será utilizado

No *setup* final foi necessário criar uma conexão interna e outra externa ao *vessel* para ser possível a montagem e a desmontagem do mesmo no laboratório. As conexões serão feitas a partir de uma flange com duas entradas. A partir de da primeira estará a haste do pistão, responsável pela movimentação do manipulador magnético, já na segunda estarão todas as conexões que o experimento pede: conexão elétrica, bomba de vácuo, fibra óptica, argônio gasoso e manômetro. Ambas entradas estarão em temperatura ambiente.

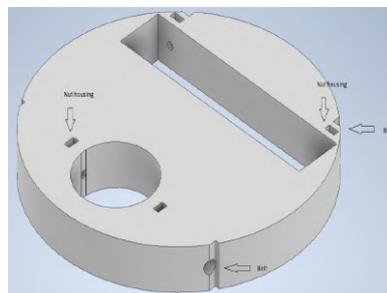


Figura 5: Suporte para o manipulador magnético e a X-ARAPUCA no interior do vessel

Dentro do *vessel*, terá 2 discos de plástico terão a função de suporte para o manipulador magnético e a X-ARAPUCA. Ambos serão feitos em uma impressora 3D.

3 Resultados

Nosso planejamento incluía montar o sistema, realizar os testes, analisar os dados provenientes do mesmo e compará-los com a simulação. Porém, devido à pandemia de COVID-19, as atividades de *hardware* tiveram que ficar paradas na UNICAMP. Através de protótipos feitos com a impressora 3D, verificamos que o manipulador funciona conforme o esperado. Algumas peças já estão prontas, porém não foi possível montá-las.



Figura 6: Peças presentes do laboratório

Foi feita então uma análise qualitativa do número de fótons esperados para o *setup* projetado. No nosso teste será utilizado como fonte alfa uma liga de alumínio-urânio que emite fótons em 3 linhas de energia diferentes. Cada uma dessas linhas possui uma abundância relativa que representa a probabilidade de emissão. Um resumo destas informações é apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Energia de cada linha de emissão da fonte alfa e sua respectiva abundância relativa

| Energia da linha de emissão(MeV) | Abundância Relativa |
|----------------------------------|---------------------|
| 4,187 | 48,9% |
| 4,464 | 2,2% |
| 4,759 | 48,9% |

O número de fótons que chega na janela da X-ARAPUCA é dado por:

$$N_{\gamma} = N_{\gamma}^{LAr} \times E_{\alpha} \times q_{\alpha} \times \Omega^A, \quad (1)$$

e assumimos como: N_{γ}^{LAr} é o *Light Yield* do argônio líquido = 50000 fótons, E_{α} é a energia de cada linha de emissão da fonte alfa, q_{α} é o *quenching factor* = 0,71 e Ω^A é o ângulo sólido para a posição que iremos definir para o manipulador magnético. Definimos a distância entre a fonte alfa e a X-ARAPUCA como $d = 3$ cm, assim o ângulo sólido é dado por:

$$\Omega^A(d = 3cm) = 4 \arctan \left(\frac{ab}{2d\sqrt{4d^2 + a^2 + b^2}} \right) = 0,32 \quad (2)$$

em que $a = 48.8$ cm, $b = 10$ cm que são as dimensões da janela da X-ARAPUCA.

Supomos que cada linha é monocromática e encontramos que a emissão de fótons na teoria é linear, conforme esperado. Já para encontramos o número máximo de fótons na janela do nosso dispositivo, supomos que cada linha é monocromática e, a partir da abundância relativa, encontramos o espectro discreto da fonte alfa.

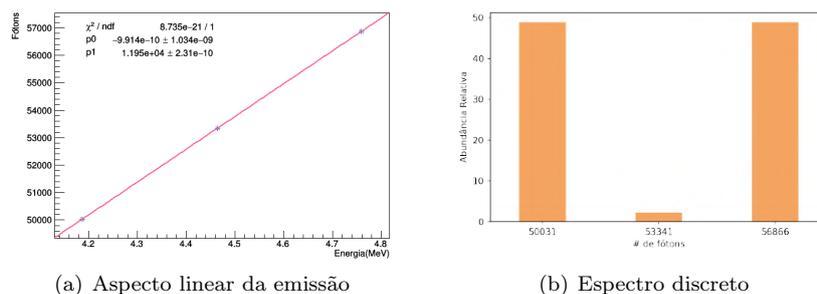


Figura 7: Fonte alfa supondo linhas monocromáticas

Porém, como a nossa fonte alfa é uma liga de alumínio-urânio, as partículas perdem uma parcela de sua energia para o alumínio. A consequência disto é que nós não temos linhas monocromáticas e um espectro discreto, mas um espectro contínuo. A função que descreve esse espectro é dada pela equação 3[2] que representa uma convolução de uma exponencial de baixas energias com uma distribuição gaussiana.

$$f(E - \mu; \sigma, \tau) = \frac{A}{2\tau} \exp\left(\frac{E - \mu}{\tau} + \frac{\sigma^2}{2\tau^2}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{E - \mu}{\sigma} + \frac{\sigma}{\tau}\right)\right), \quad (3)$$

em que: $\sigma = 3000$ fótons, $\tau = 25000$, $A =$ abundância relativa, $E =$ número máximo de fótons que chegam na janela do dispositivo e $\mu =$ número máximo de fótons gerados. Encontramos essa função para cada linha de emissão e somamos as 3, assim obtemos o espectro contínuo apresentado na figura 8.

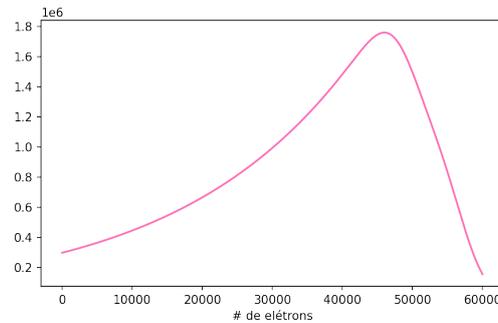


Figura 8: *Espectro contínuo de emissão da fonte alfa*

4 Conclusão

Neste projeto conseguimos aprender mais sobre as propriedades dos materiais em temperaturas criogênicas, como são feitas as conexões nestas e como um teste de um detector de partículas é realizado. Apesar ter sido necessário fazer uma adaptação do estudo, pudemos aprofundar do estudo teórico por trás da cintilação no argônio líquido e como é o espectro da fonte alfa.

5 Agradecimentos

Agradecemos ao Frederico Luciano Demolin por todo suporte e orientação durante a elaboração do **setup**, a todo grupo de pesquisa do Laboratório de Léptons pelas reuniões semanais onde foi discutido o projeto. Principalmente ao PIBIC e a UNICAMP por financiarem este projeto de iniciação científica.

Referências

- [1] W. R. Leo, “*Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*”, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1987.
- [2] E. Segreto, A.A. Machado, L. Paulucci, F. Marinho, D. Galante, S. Guedes, A. Fauth, V. Teixeira, B. Gelli, M.R. Guzzo, W. Araujo, C. Ambrósio, M. Bissiano, and A.L. Lixandrão Filho, *Liquid argon test of the ARAPUCA device*, Journal of Instrumentation **13** (2018), no. 08,P08021–P08021.