



Desenvolvimento de um Canhão de Íons

William Depetri – Bolsista
Abner de Siervo – Orientador

Instituto de Física Gleb Wataghin
Universidade Estadual de Campinas
PIBIC/UNICAMP



Resumo

Este projeto de iniciação científica visa simular, utilizando métodos de elementos finitos, o campo elétrico e a configuração geométrica de eletrodos para funcionarem como elementos extratores, focalizadores, e defletores de um canhão de íons. Este canhão de baixo custo, e simplificado poderá ser utilizado para erosão iônica (sputtering) para limpeza em ambiente de vácuo e também como um implantador de baixa energia.

Introdução

Uma técnica extremamente utilizada para limpar superfícies em ambiente de ultra-alto-vácuo (UHV) é o bombardeamento energético da mesma por íons de gás inerte. Este processo é também conhecido como erosão iônica ou “sputtering”. Para tanto, utiliza-se um canhão de íons cuja função é ionizar, acelerar, focalizar e defletir os íons na amostra a ser limpa. Neste projeto de iniciação científica propomos elaborar via simulação no computador um protótipo para um canhão de íons de baixa energia (100–2000V). O princípio de funcionamento deste equipamento consiste em primeiramente ionizar um gás inerte, tal como Argônio, com elétrons expelidos de um filamento aquecido por efeito termiônico; tais íons passam por uma área de aceleração e, em seguida, são focalizados a certa distância onde se encontra posicionada a amostra. O canhão consiste de um eletrodo, que causa a aceleração, e de uma série de cilindros com potenciais elétricos controlados, de maneira a podermos determinar o foco. A concepção da geometria com a simulação dos campos eletrostáticos necessários foi realizada utilizando-se o método de elementos finitos, através do programa SIMION. Esquematizamos um projeto rudimentar da peça final para que o mesmo possua apenas um cilindro com potencial aplicado, o que facilitará enormemente a confecção, montagem e operação do dispositivo.

A Equação de Laplace

A equação de Laplace é dada pela expressão:

$$\nabla^2 V = 0, \quad (1)$$

onde V é o potencial do campo elétrico e.

Pela simetria do problema, é conveniente considerar o laplaciano em coordenadas cilíndricas, dado por:

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}, \quad (2)$$

em que r é a coordenada radial do cilindro, ϕ a coordenada azimutal, e z a coordenada longitudinal.

Utilizando o Método de Separação de variáveis, onde:

$$V(r, \phi, z) = R(r) \cdot \Phi(\phi) \cdot Z(z) \quad (3)$$

Aplicando (3) em (2), obtemos uma solução do tipo:

$$V(r, \phi) = a_0 + b_0 \ln r + \sum_{k=1}^{\infty} \{ r^k (a_k \cos k\phi + b_k \sin k\phi) + r^{-k} (c_k \cos k\phi + d_k \sin k\phi) \}, \quad (4)$$

com a_n e b_n a serem determinados por condições iniciais.

Da equação (4) acima, é importante notar que, na parte radial, existe um termo logarítmico, ou seja, quanto menor o raio do cilindro, o efeito do potencial aplicado se torna muito mais forte.

O Projeto

Projeto Inicial

Inicialmente, pensava-se em fazer um canhão utilizando 3 cilindros (Figura 1) distintos, onde submetia-se cada um deles a um certo potencial, procurando o foco.

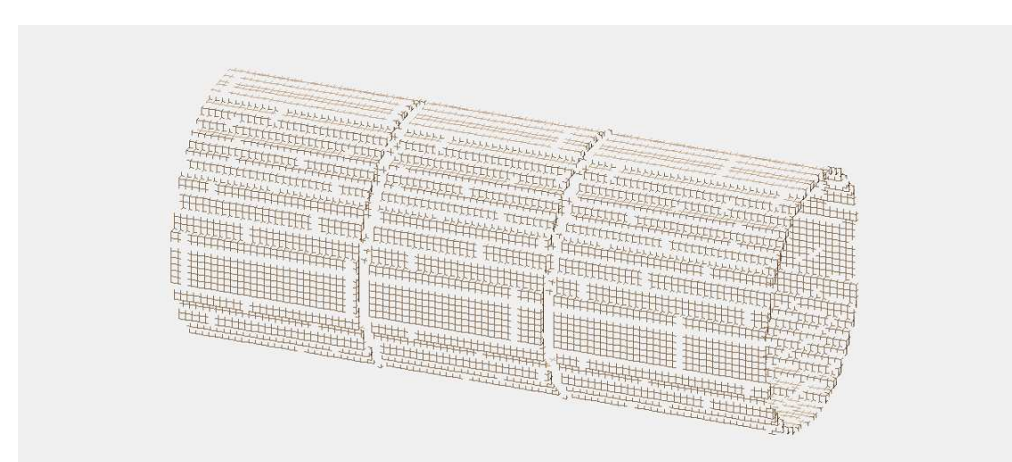


Figura 1: Projeto Inicial.

Este projeto, porém era pouco prático, pois para definir os potenciais, é necessário que se passe fios para o ambiente de vácuo, e se precisarmos passar muitos fios, podemos prejudicar o ambiente, e não garantir a pressão desejada.

Novo Projeto

Notamos então, que havia uma certa simetria, onde bastava aplicar um potencial no cilindro central, e manter os outros 2 a um potencial fixo. Pensando nisso, elaboramos uma nova geometria, onde conseguimos diminuir a quantidade de potenciais a serem determinados e, portanto, a quantidade de fios.

Pensando nisso, fizemos então um projeto (Figura 2) onde um grande cilindro a um potencial nulo possui, em seu interior, um segundo cilindro com um potencial V_0 , que determina unicamente a distância focal.

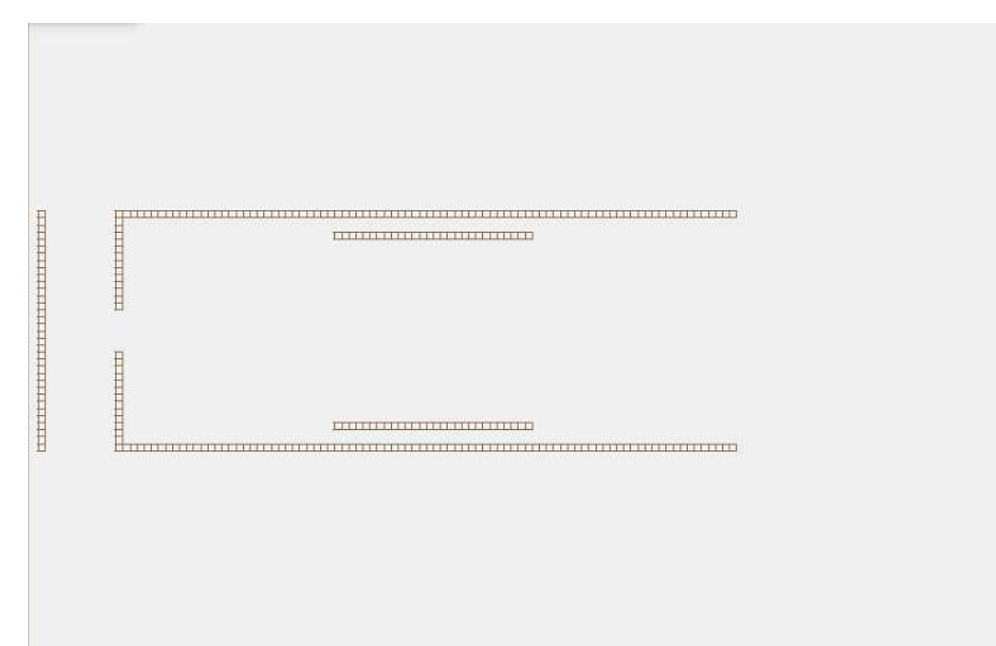


Figura 2: Secção Transversal.

Note que aqui, o desenho já possui um eletrodo inicial, onde o efeito foto-elétrico ocorre, ionizando o gás de Argônio, e já acelerando-o para entrar no canhão. Esta geometria diminui bastante a quantidade de fios a serem levados para dentro do ambiente de vácuo, minimizando assim possíveis vazamentos, e também simplificando a eletrônica do projeto.

Simulando no Simion

Definindo as características dos íons, e os Potenciais

No programa, é possível definir características, como a massa dos íons, e a energia cinética inicial. Nestas simulações, estamos tratando de um gás de Argônio ($MM = 39,984 u.m.a$), e sua energia potencial se deve apenas à aceleração causada pelos eletrodos, então definimos sua energia inicial com nula.

Observando o Potencial Elétrico

Num primeiro momento, tínhamos o eletrodo a uma distância muito grande do canhão, o que fazia com que os íons viajassem em trajetórias completamente fora do esperado. Isso ocorreu devido a efeitos de borda, que notamos ao ver as linhas de campo. Conseguimos então determinar uma certa distância onde as linhas entre os eletrodos ficassem paralelas entre si (Figura 3) e, portanto, fazendo os íons serem acelerados apenas para frente, não alterando sua direção.

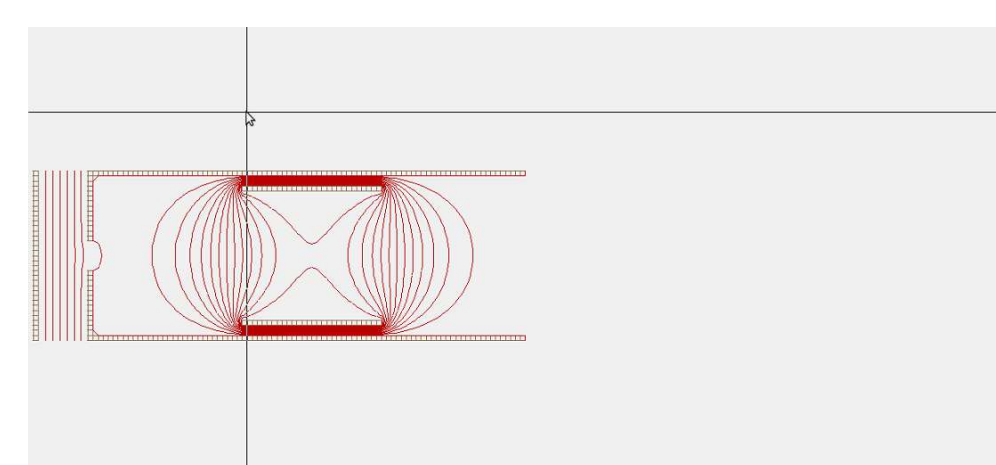


Figura 3: Curvas Equipotenciais.

Definindo então, diversos potenciais no cilindro central, e no eletrodo responsável pela aceleração dos íons, podemos determinar onde estará o foco.

Relação dos Potencias com o Foco

Para determinar a distância focal do canhão, variamos apenas parâmetros relacionados aos potenciais aplicados. Mantendo fixo um certo potencial de aceleração nos eletrodos, variamos o potencial central diversas vezes, obtendo então a distância focal. Fizemos este mesmo procedimento para diversos potenciais de aceleração, obtendo o gráfico a seguir:

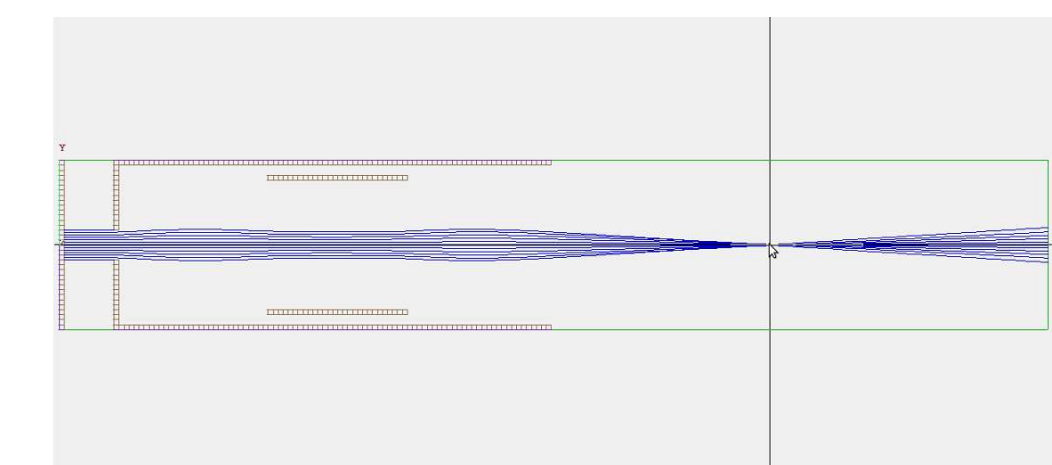


Figura 4: Trajetória dos íons com eletrodo a 100V, e cilindro a -500V. Foco a aproximadamente 14cm.

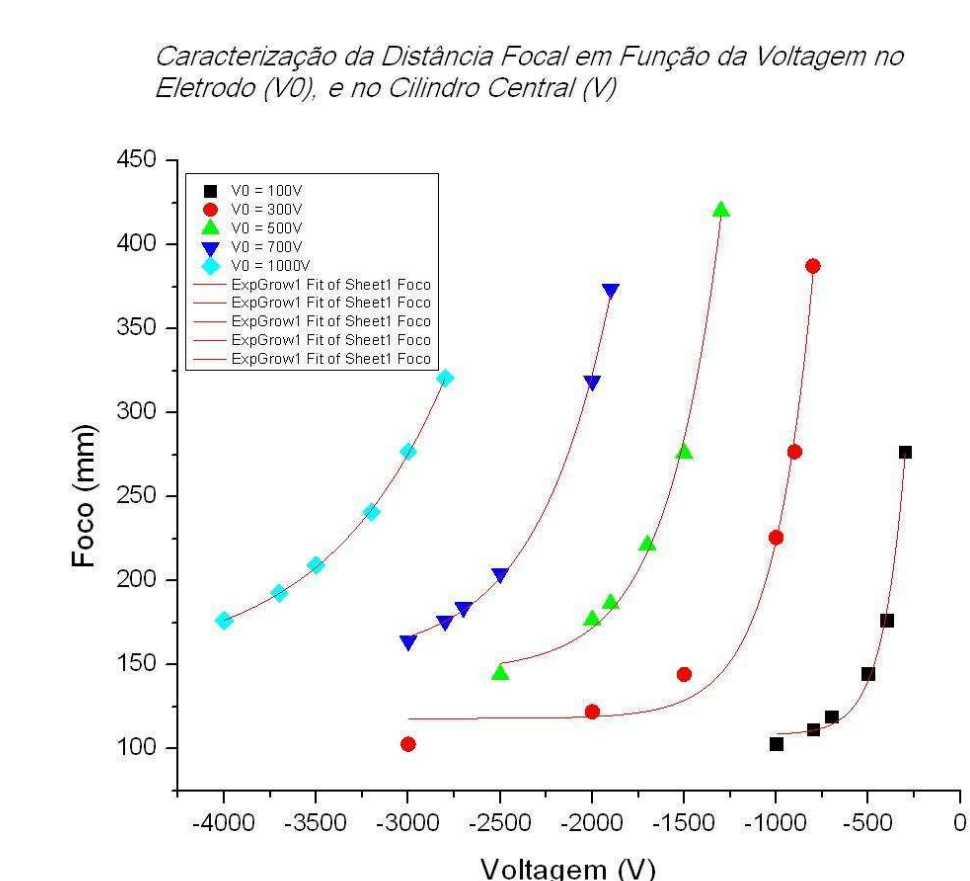


Figura 5: Caracterização da distância focal.

Notamos então, que a velocidade com que os íons chegam ao foco depende do potencial aplicado nos cilindros, uma vez que estes realizam trabalho apenas na alteração da direção e sentido das velocidades, e não em seu módulo, alterado apenas pela intensidade do potencial nos eletrodos. Encontramos então uma relação de proporcionalidade entre o potencial do cilindro central, e do eletrodo, para uma certa distância focal. Lembrando que a solução da equação de laplace (4) possui um termo logarítmico na coordenada radial, para diminuir esta relação, e poder utilizar potenciais menores, devemos diminuir o raio do cilindro central.

Projetos Futuros

Para otimizar ainda mais o projeto, há algumas coisas que poderiam ser feitas, mas que não foi possível de concluir. Entre elas:

1. Encontrar um raio melhor para o cilindro central, onde a proporção entre o potencial no cilindro e no eletrodo fique mais próxima de 1;
2. Alterar a posição do cilindro central dentro do cilindro de potencial nulo, e analisar como tal mudança afeta a distância focal e tentar diminuir ainda mais a relação já citada;
3. Utilizar o programa INVENTOR 3D, para possivelmente criar um esquema de montagem mecânica do dispositivo, e realizar simulações reais.

Bibliografia

1. D.A., Dahl. Simion 3D-Version 7.0-User's Manual. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, 2000.
2. D. J., Griffiths. Introduction to Electrodynamics. 3a edição. Prentice Hall, 1999.
3. www.sisweb.com/simion/htm
4. http://www.webelements.com/argon/

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pelo suporte financeiro.

