

F 609C - Tópicos de Ensino de Física I

Armadilha para partículas dielétricas carregadas



Leandro Salmagi Coutinho

Prof. Coordenador: José Joaquim Lunazzi

Prof. Orientador: Marcos Cesar de Oliveira

06 de Junho de 2008

Armadilha para partículas dielétricas carregadas

Relatório Final (Versão Prévia)

Leandro Salmagi Coutinho, RA 044588, F 609-C

Orientado por Marcos Cesar de Oliveira

1) Projeto

O projeto consiste na montagem de uma armadilha para partículas dielétricas carregadas usando três eletrodos, sendo um deles um anel, e os outros dois esferas axiais, conforme a figura 01.

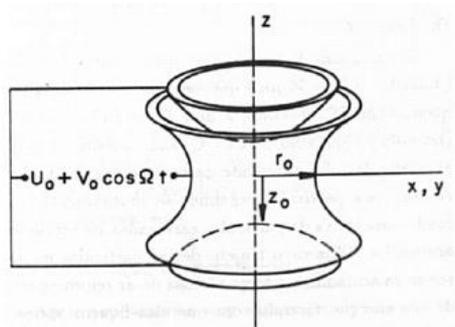


Figura 01: Geometria dos eletrodos

Uma alta tensão alternada é aplicada entre o anel e as esferas, de modo a se obter um campo de estabilidade dinâmica, visto que um campo estável não é possível em campos elétricos, visto que as linhas de campo sempre possuem um fim, que acabaria levando partículas carregadas para fora do sistema ou até o contato com os eletrodos, desfazendo a carga dos mesmos.

Assim, pode-se utilizar a tensão de rede (127V, 60Hz) como tensão de alimentação para o sistema, aumentando sua intensidade com transformadores, até uma margem de cerca de 3,5 KV.

Pode-se utilizar um fusível no circuito, como precaução, caso haja algum acidente de mau projeto no circuito, ou caso alguém cometa o erro de tocar os eletrodos.

As partículas carregadas que deveriam ocupar o interior do complexo são pequenas partículas de vidro (que poderão se tornar visíveis se atingidas por um laser) ou então pequenas partículas plásticas ou de isopor. Elas podem ser carregadas se expostas a um potencial contínuo forte. O artigo bibliográfico de referência sugere um potencial de 25kV, utilizando-se uma fonte de televisão, capaz de fornecer tal potencial. Embora ele também possa ser atingido com um retificador de tensão e mais alguns transformadores.

Poderá se observar lá dentro como a viscosidade do ar é capaz de aprisionar as partículas e evitar como elas atravessem o poço potencial, assim como as partículas

aprisionadas também podem se organizar em posições geométricas análogas a de moléculas em cristais.

2) Originalidade

O experimento é uma técnica conhecida e aplicada em diversos métodos práticos de pesquisa, mas que pode ser montado de modo razoavelmente simples. Esta armadilha de íons foi elaborada por H. Dehmelt e W. Paul, e lhes rendeu o prêmio Nobel de Física de 1989, e permitiu vários outros experimentos que chegaram a conclusões interessantes à física moderna, conforme informa o artigo de referência de Sousa e Bagnato.

3) Referências

O experimento se baseia no artigo de Sousa e Bagnato:

Sousa, Danton M. ; Bagnato Vanderlei S. , Armadilha para Partículas Dielétricas Carregadas Demonstração de Estabilidade Dinâmica e Microestruturas, Instituto de Física e Química de São Carlos – USP, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.16, nº(1-4), 1994

4) Lista de Materiais

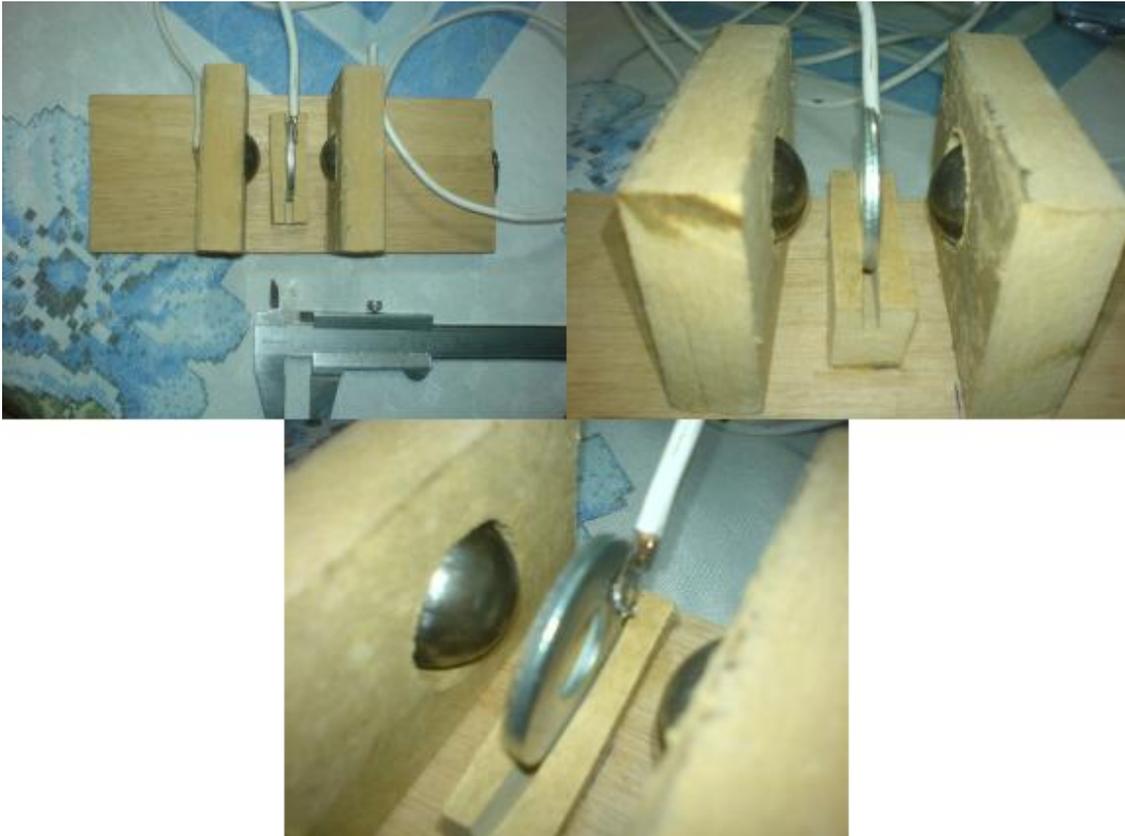
- Duas esferas de rolamento (para montagem de eletrodos)
- Anel metálico
- Soltas
- Fios elétricos
- Transformadores
- Fonte de televisão, ou retificador de alta tensão (pode ser montado pessoalmente)
- Partículas ionizáveis pequenas (cerol de pipa, vidro pulverizado, ou partículas de isopor)

5) Resultados atingidos até o momento:

Até a redação deste relatório, foram coletados alguns materiais para a montagem, sendo esses madeira, duas esferas de rolamento de 2cm de diâmetro cada, fios elétricos e solda, alguns fusíveis e duas bobinas automotivas.

Foi montada uma estrutura de madeira para sustentação dos eletrodos esféricos e do anel metálico em seu interior. E foram soldados fios elétricos nas esferas e no anel usando soldas de estanho.

O resultado pode ser visto nas fotos a seguir:



As soldas de estanho se mostraram suficientes para realizar o contato elétrico entre os fios e o corpo dos eletrodos. Um multímetro foi capaz de testar isso. Porém, são fisicamente fracas, soltando muito facilmente se forçadas. Pretende-se realizar uma solda mais forte posteriormente

A madeira foi cortada usando-se uma serra elétrica, e os furos para as esferas foram feitos com uma furadeira e uma lixa.

Talvez seja necessário utilizar-se um anel metálico maior. Embora as esferas e o posicionamento das mesmas esteja de acordo com o artigo de referência, o anel utilizado ainda sim é bastante diferente, tendo o seu espaço interno com um centímetro de diâmetro, quando o utilizado no artigo é cerca de 2,5cm.

Porém, o Orientador crê que seja possível que o dispositivo funcione do mesmo modo, valendo assim uma tentativa.

No que se diz respeito a parte elétrica da montagem, muitos dos materiais são difíceis de serem encontrados. As duas bobinas automotivas (uma só é necessária) foram conseguidas sob ajuda de um parente.

Um bom tempo foi dedicado ao teste da bobina. Foi pesquisada a pinagem da bobina, e depois um certo tempo para testes com a mesma.

Acabou concluindo-se que a bobina tem um fator de aumento de cerca de 32 vezes. Ou seja, uma entrada de $10V_{ac}$ é capaz de produzir uma saída de $320V_{ac}$.

Porém, conversando com professores, outros detalhes surgiram. A fiação utilizada na montagem dos eletrodos não é satisfatória. Por não se tratar de fios específicos para alta tensão, eles acabariam ionizando o ar em torno de si, e permitindo uma fuga de corrente, e talvez até mesmo um acidente.

Ainda se procura por fios ideais.

6) Pesquisa realizada

O embasamento literário consiste no artigo de Souza e Bagnato, como consta nas referências, e na própria tese de doutorado do professor orientador, Marcos Cesar de Oliveira, que discute, no segundo capítulo, a dinâmica e o comportamento ideal da armadilha, conforme também se mostra resumidamente neste relatório.

Mas não foi feita nenhuma pesquisa formal. Os artigos de referência fornecidos pelo orientador se mostraram suficientes até o momento.

7) Teoria.

Este experimento não consiste em uma montagem com o cunho de comprovar, evidenciar ou firmar uma proposta teórica, mas sim na aplicação útil de um conhecimento teórico, demonstrado a seguir.

Um sistema de eletrodos de campo estático não é suficiente para se aprisionar partículas elétricas, visto que uma partícula tenderia a seguir as linhas do campo elétrico e acabar colidindo com um dos eletrodos.

Resolvendo este problema, W. Paul ganhou o Nobel de 1989 com a elaboração de uma armadilha que utiliza três eletrodos, dois esféricos e um em forma de anel, seguindo uma simetria axial, conforme a figura 01, já apresentada.

Considerando-se dois eixos, chamados de z e r , sendo z um eixo axial, e r um eixo radial, tem-se que os eletrodos se definem pelas equações $z^2 = z_0^2 + r^2/2$ para o eletrodos axiais, e $z^2 = (r^2 - r_0^2)/2$ para o eletrodo em forma de anel, conforme a figura 02:

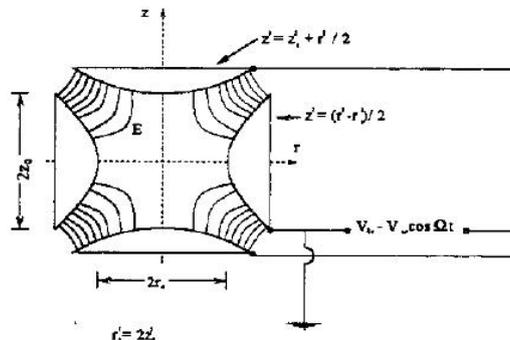


Figura 02: Representação geométrica dos eletrodos.

Sendo $r_0^2 = 2z_0^2$, tem-se que o potencial no interior dos eletrodos, de modo ideal, pode ser dado por:

$$V(z, r) = (V_{dc} - V_{ac} \cos(\Omega t)) \cdot (1/4z_0^2) \cdot [2z^2 + (r^2 - r_0^2)] \quad (1)$$

Sendo assim, as componentes do campo elétrico podem ser dadas por:

$$E_z = -\delta V / \delta z = - (V_{dc} - V_{ac} \cos(\Omega t)) z / z_0^2 \quad (2)$$

$$E_r = -\delta V / \delta r = - (V_{dc} - V_{ac} \cos(\Omega t)) r / r_0^2 \quad (3)$$

Sendo considerado a equação clássica $F=ma$, tem-se que:

$$a - F/m=0$$

$$a - EQ/m=0$$

Sendo Q a carga e m a massa da partícula imersa no campo, obtemos assim as equações diferenciais desacopladas para os eixos z e r , como:

$$\frac{d^2z}{dt^2} + \frac{Q}{m} \frac{(V_{dc} - V_{ac} \cos(\Omega t))}{z_0^2} z = 0 \quad (4)$$

$$\frac{d^2r}{dt^2} - \frac{Q}{m} \frac{(V_{dc} - V_{ac} \cos(\Omega t))}{2z_0^2} r = 0 \quad (5)$$

Então, fazendo se as substituições:

$$x = \Omega t / 2 \quad (6)$$

$$\alpha_z = -2 \quad \alpha_r = 4 \quad \frac{Q}{m} \frac{V_{dc}}{z_0^2 W^2} \quad (7)$$

$$\beta_z = -2 \quad \beta_r = 2 \quad \frac{Q}{m} \frac{V_{ac}}{z_0^2 W^2} \quad (8)$$

Assim, as equações tomam a forma da equação de Mathieu-Hill:

$$\frac{d^2u_i}{dt^2} + (\alpha_i - \beta_i \cos 2x) u_i = 0 \quad (9)$$

Sendo $u_i = z, r$.

A equação de Mathieu-Hill normalmente é obtida quando os parametros de um sistema são dependentes do tempo.

Então, entende-se o movimento da partícula como sendo uma oscilação $\delta(t)$ curta de alta frequência Ω , e uma oscilação lenta de baixa frequência $\underline{z}(t)$.

Assim:

$$z(t) = \delta(t) + \underline{z}(t) \quad (10)$$

Quando se insere a equação (10) na equação (9), e supõe-se $\alpha = 0$, ignorando o efeito da tensão V_{dc} , supondo, assim, que $\underline{z}(t)$ seja um movimento muito lento e varie pouco se comparado à $\delta(t)$. Obtém-se:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} \sim \frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{\Omega^2 \beta_z}{2} \underline{z}(t) \cos 2x$$

De modo que o micro-movimento $\delta(t)$ pode ser definido por:

$$\delta(t) = - \frac{\beta_z}{2} \underline{z}(t) \cos \Omega t \quad (11)$$

E, considerando a média ao longo de um micro-movimento em (9), obtém-se:

$$\frac{d^2 \underline{z}}{dt^2} = - \frac{\Omega^2 \beta_z^2}{8} \underline{z}$$

Cuja solução é:

$$\underline{z}(t) = \underline{z}_0 \cos \underline{\omega}_z t,$$

$$\text{Onde } \underline{\omega}_z = (\beta_z / \sqrt{2}) (\Omega / 2)$$

Pode-se dizer que o macro-movimento é realizado em um quase-potencial dado por:

$$Q\underline{U} = \frac{1}{2} m \underline{\omega}_z^2 \underline{z}^2$$

Cujo mínimo é no centro da armadilha, e o máximo é:

$$\underline{U}_{max} = \frac{1}{2} \frac{m \underline{\omega}_z^2 \underline{z}^2}{Q} = \frac{1}{8} q_z V_{ac}$$

Tem-se, então, que a partícula realiza dois movimentos oscilatórios, e a armadilha se torna mais efetiva quando maior o valor de \underline{U}_{max} , e conseqüentemente de V_{ac} . Porém, grandes valores de V_{ac} também levam a uma instabilidade, conforme a figura 03:

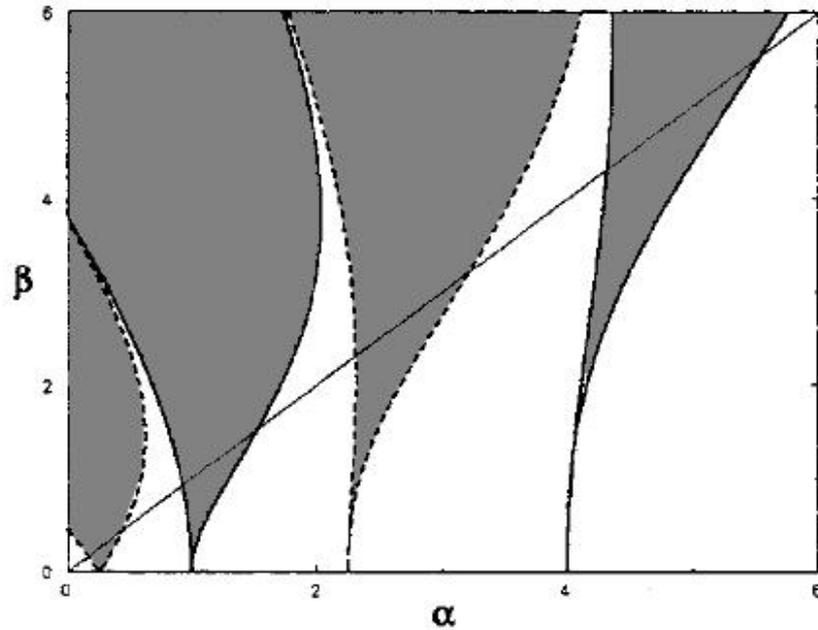


Figura 03: As áreas escuras representam relações α β de estabilidade para a equação de Mathieu-Hill

Nota-se que, com $\beta = 0$, não é possível se conter partículas, e com $\alpha = 0$, é praticamente certa a contenção de uma partícula em condições iniciais ideais e sem atrito. Porém, numa situação real, pode ser necessária a presença de α para controlar problemas de gravidade. Porém, forças dissipativas, como o atrito com o ar, podem ajudar na contenção das partículas.