

ESTUDO DE TRAJETÓRIAS DE ELETRONS EM UM ORBITRON COM UM POTENCIAL RF SUPERPOSTO

Carlos V. Speller
Departamento de Física - ITA
Centro Técnico Aeroespacial
12225 - São José dos Campos - SP

Ross A. Douglas
Instituto de Física "Gleb Wataghin" - UNICAMP
Departamento de Física Aplicada
13081 - Campinas - SP

Jerônimo J.C. Guedes
CPqD/Telebrás
13085 - Campinas - SP

Constatou-se que a superposição de um potencial rf ao potencial logarítmico de um orbitron induz, para certos intervalos de frequência, o aparecimento de picos de corrente negativa na parede do dispositivo. Um estudo experimental foi realizado e a ejeção de eletrons para fora do volume de confinamento é tentativamente interpretada com base no movimento orbital dos eletrons e em sua interação com a região de assimetria potencial do filamento.

Gas de eletrons, confinamento, rf, analisador de massas.

1. INTRODUÇÃO

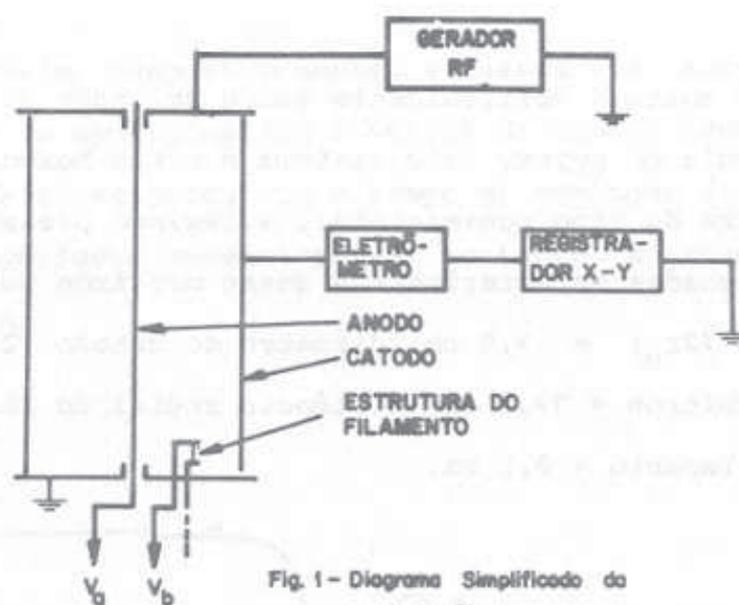
Basicamente, o orbitron (1-3) constitui um dispositivo de confinamento de partículas carregadas, utilizado originalmente para o caso de eletrons. Os eletrons confinados no potencial logarítmico entre os cilindros coaxiais do orbitron descrevem órbitas ligadas em torno do cilindro interno, podendo eventualmente perder momento angular na região de assimetria potencial produzida pelo filamento injetor de eletrons e colidir com um dos dois cilindros. Essas órbitas foram estudadas por Hooverman (4) que aplicou um tratamento numérico às equações do movimento de uma partícula não relativística em um potencial logarítmico, simulando, dessa forma, um orbitron "ideal", isto é, sem assimetrias. Acoplado um analisador de espectros ao cilindro interno do dispositivo, Troise

(5) mediu as oscilações de rádio-frequência produzidas por um orbitron. Essas frequências foram parcialmente explicadas através de um modelo orbital, no qual as oscilações são associadas à orbitas fechadas previstas na teoria de Hooverman. Posteriormente, Speller (6), partindo de resultados não publicados de Deichelbohrer (7), superpôs um potencial rf externo ao potencial logarítmico do orbitron, observando para certos intervalos de frequência, picos negativos na corrente coletada pelo cilindro externo. Estes picos não poderiam corresponder simplesmente a um decréscimo na corrente de íons positivos normalmente coletados pelo cilindro, já que as correntes de pico atingiam valores negativos. Resultam portanto da ejeção de eletrons para fora do volume de confinamento. Há indícios de que os resultados obtidos na experiência de superposição do potencial rf possam ser interpretados com base no modelo proposto para Troise para oscilações rf no orbitron. Dentro dessa perspectiva e, tendo em vista a aplicação potencial do orbitron como um filtro de massas, resultados parciais de experimento da superposição de potencial rf serão apresentados, bem como uma primeira tentativa de correlação entre os trabalhos de Troise e de Speller.

2. DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

O orbitron utilizado no presente estudo (vide figura 1) consiste de dois cilindros concêntricos, sendo que o interno (anodo) é mantido a um potencial positivo em relação ao externo (catodo), e este último é fixado à terra. Eletrons emitidos por um filamento aquecido, são introduzidos entre os dois cilindros, com energia e momento angular de tal forma que eles possam orbitar em torno do anodo, atingindo um livre percurso médio muito longo ($\sim 10^3$ cm) entre a emissão no filamento e a colisão com o anodo. Para tal, uma pequena blindagem polarizada positivamente é coloca

da entre o anodo e o filamento, tal como mostrado na figura 1. Esta configuração é adequada para que os eletrons adquiram o momento angular necessário para orbitarem em torno do anodo, evitando assim que sejam diretamente coletados por um dos dois cilindros. Os eletrons possuem também uma componente de velocidade axial adquirida na região de assimetria de



potencial (8). As extremidades do orbitron atuam como espelhos eletrostáticos refletores, fazendo com que os eletrons orbitem num movimento combinado de vai-e-vem entre os dois extremos do dispositivo. Os eletrons, antes de serem coletados, ionizam o gás residual, por colisões eletrón-molécula, e os íons positivos resultantes são atraídos para o catodo pelo campo eletrostático radial, produzindo, dessa forma, uma corrente positiva. Para condições de operação constantes, a corrente de catodo, I_c , é constante.

Para a aplicação do potencial de rádio frequência, dois geradores rf com diferentes varreduras (HP-651A/10Hz-10MHz e HP-606A/ 50KHz-65MHz), são utilizados, acoplando-os à placa da extremidade oposta à do filamento. A varredura é feita adaptando-se um pequeno motor elétrico ao dial

do gerador em operação. A detecção da corrente de catodo, I_c , é realizada por um picoamperímetro Keithley 610BR e a corrente medida é registrada por um registrador gráfico X-Y. Uma voltagem V_p (0-30V) de polarização é aplicada à estrutura blindagem-filamento e as correntes de emissão, I_e , e de eletrons coletados pelo anodo, I_a , são lidas através de microamperímetros. A voltagem de anodo, V_a , foi variada entre 100 e 500 volts aproximadamente.

O orbitron é montado verticalmente sobre uma base de aço e encerrado por uma câmpnula de pyrex. Este sistema é então bombeado por bombas rotativa e difusora do tipo convencional, atingindo pressões da ordem de 10^{-7} torr. As dimensões características desse orbitron são as seguintes: diâmetro do anodo ($2r_a$) = 9,9 cm; diâmetro do catodo ($2r_c$) = 0,065 cm; comprimento do orbitron = 37,5 cm; distância radial do filamento = 2,7 cm; comprimento de filamento = 0,5 cm.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

A figura 2 mostra um espectro registrado na 1.^a faixa de varredura (10Hz-10MHz). Foram detetadas quatro frequências de ejeção de eletrons, isto é, picos de corrente de catodo negativa, correspondente à coleta de eletrons pelo cilindro externo. Outros picos de corrente negativa, além dos quatro citados acima, foram observados. Porém, ou bem eram independentes da existência do gás eletrônico, ou bem eram de intensidades pequenas e não possuíam comportamento definido em relação à variação dos diversos parâmetros do orbitron. Não serão portanto considerados nesta primeira análise.

Consideremos agora as órbitas do estudo de Hooverman, projetadas no plano transversal do orbitron. Para as órbitas fechadas, obtém-se a seguinte expressão para as frequências de fechamento (5):

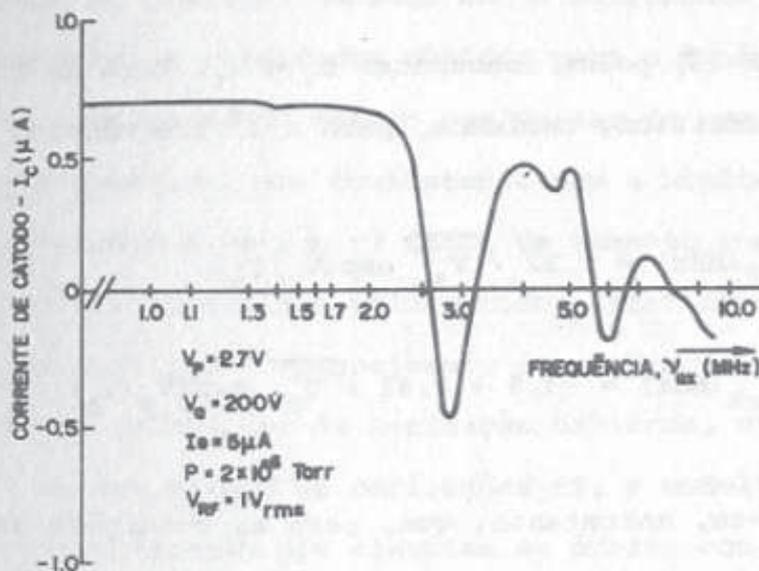
$$v_f = \frac{Q}{(2n-1) \cdot \tau} \quad (1)$$

onde

$$Q = \left(\frac{2eV_a}{m} \right)^{1/2} \frac{1}{r_a} \exp. - \left(\frac{V_a - V_p}{P_o} \right) \quad (2)$$

com $P_o = V_a / \ln(r_2/r_1)$.

Aquí, e e m designam, respectivamente, a carga e a massa do eletrón; $(2n-1)$, o número de evoluções (ou lóbulos) da órbita fechada; e τ é uma variável reduzida relacionada com o tempo de evolução (tempo entre dois apogeus ou dois perigeus sucessivos) e, portanto, constante para um mesmo tipo de órbita.



1 Fig. 2 - Espectro de Frequências de Ejeção de Elétrons

A dependência das quatro frequências observadas experimentalmente, ν_{ex} , com $\sqrt{V_a}$ foi estudada, e os resultados obtidos foram comparados com as frequências de fechamento (sem rf) calculadas, ν_f , correspondente às quatro primeiras órbitas, isto é, para $(2n-1) = 1, 3, 5$ e 7 . Das relações (1) e (2), observa-se que se V_p for nula ou proporcional a V_a (caso presente), a frequência de fechamento deve variar com a raiz quadrada do

potencial do anodo,

$$\nu_f = K_0 \sqrt{V_a} \exp(V_p/V_a) \quad (3)$$

onde cada órbita possui um valor de K_0 diferente. Comparando-se ν_f e ν_{ex} , constatou-se que, dentro da gama de valores experimentais de V_a utilizada, os valores encontrados para as frequências ν_f e ν_{ex} diferem de, no máximo, um fator 1,5. Entretanto, admitindo-se um comportamento linear para a dependência de ν_{ex} com $\sqrt{V_a}$, a forma da relação correspondente seria

$$\nu_{ex} = K_1 + K_2 \sqrt{V_a} \exp(V_p/V_a) \quad (4)$$

que difere da relação (3) pelos constantes K_1 e K_2 . Para as condições de referência do nosso orbitron, teríamos, para a 1.^a frequência,

$$\nu_f(\text{MHz}) = 0,22 \sqrt{V_a} \exp(V_p/V_a)$$

$$\nu_{ex}(\text{MHz}) = -3,8 + 0,41 \sqrt{V_a} \exp(V_p/V_a)$$

É interessante notar-se, entretanto, que, para as condições da figura 2, por exemplo, nenhum pico de corrente negativa é detetado abaixo de $\sim 2,5$ MHz. De fato, pelo modelo de órbitas fechadas, o raio do perigeu para a órbita com $2n-1 = 9$ pétalas seria inferior ao raio do anodo ($r_p = 0,015$ e $r_a = 0,033$ cm), o que implicaria na coleta imediata do eletrón pelo anodo. Consequentemente, a menor frequência detetável, segundo o modelo, seria correspondente à órbita de $2n-1 = 7$ lóbulos; a maior, corresponderia a $2n-1 = 1$ (órbita circular). A título de exemplo, a tabela abaixo mostra, para as condições de referência da figura 2, os valores calcula

dos de v_f (incluindo o valor "proibido" onde $r_p < r_a$), os valores correspondentes de r_p , bem como os valores experimentais v_{ex} .

$2n-1$	1	3	5	7	9*
v_f (MHz)	14,8	7,3	4,5	3,2	2,5
v_{ex} (MHz)	12,8	8,8	4,6	2,1	—
r_p (cm)	3,0	0,85	0,13	0,038	0,015

v_{ex} obtido a partir das "retas" experimentais (relação (4));

(*) Valor "proibido" ($r_p < r_a$); $r_a = 0,033$ cm.

O modelo de órbitas fechadas não é suficiente para explicar de maneira inequívoca os resultados obtidos para o fenômeno de ejeção de elétrons. Isto, apesar de um estudo preliminar de uma das órbitas, através de simulação numérica, ser consistente com a hipótese de que a componente radial de campo elétrico rf induz um aumento considerável no apogeu, levando à coleta do elétron pelo catodo. Anteriormente, Gammon (9), na tentativa de explicar o aparecimento de oscilações nas características de corrente de um medidor de ionização orbitron, utilizou, assim como Troise (5) em seu estudo de oscilações rf, o modelo orbital supondo a existência de interação dos elétrons em órbita com a região de assimetria de potencial do filamento. Não foi possível, entretanto, mostrar de que forma esta interação estaria envolvida no fenômeno estudado. No presente estudo, medidas realizadas em regime de carga espacial limitada em torno do filamento sugerem que o fenômeno de ejeção de elétrons está fortemente relacionado com a presença da nuvem eletrostática na região do filamento. É bem possível que os fenômenos estudados nos três casos estejam intimamente correlacionados. Um aspecto interessante a ser notado, é que, se as frequências de ejeção de elétrons tiverem comportamento linear com

a raiz quadrada de e/m , conforme as relações (1) e (2), o orbitron poderá funcionar como um filtro de massas, substituindo-se o filamento por uma fonte de íons convencional adaptada externamente. Todos estes aspectos deverão ser investigados em um projeto ora em desenvolvimento no ITA.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Dr. P.R. Deichelbohrer pela sugestão do problema e ao Dr. J.L. Ferreira pela colaboração durante a fase de medidas. Agradecemos também ao CNPq e à FINEP pelo apoio financeiro, bem como pela concessão de uma bolsa de Iniciação Científica à J.J.C. Guedes, pelo DF-UFPE.

REFERÊNCIAS

- [1] R.G. Herb, T. Pauly and K.J. Fischer, Bull. Am. Phys. Soc. 8, 336 (1963).
- [2] W.G. Mourad, T. Pauly and R.G. Herb, Rev. Sci. Instrum. 35, 661 (1964).
- [3] R.A. Douglas, J. Zabritsky and R.G. Herb, Rev. Sci. Instrum. 36, 1 (1965).
- [4] R.H. Hooverman, J. Appl. Phys. 34, 3505 (1963).
- [5] S.J. Troise, Tese de Mestrado, IF-USP (1970).
- [6] C.V. Speller, Tese de Mestrado, DF-UnB (1975).
- [7] P.R. Deichelbohrer, resultados não publicados.
- [8] E.A. Meyer and R.G. Herb, J. Vac. Sci. Technol. 4, 63 (1966).
- [9] R.B. Gammon, Vacuum 17, 379 (1967).