

PROCESSOS DE CARREGAMENTO ELÉTRICO DOS GRÃOS DE POEIRA CONTIDOS NO PLASMA DO MEIO INTERPLANETÁRIO

BRITO, Gabriel Chaves^{1,2}; GAELZER, Rudi^{1,3}

¹Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Física e Matemática, Departamento de Física.
E-mail: ²gabriel.chaves90@gmail.com, ³rudi@ufpel.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

A matéria visível do Universo encontra-se, em sua maioria, em um estado gasoso ionizado no qual as partículas estão acopladas eletricamente entre si e com campos eletromagnéticos externos. Esta forma de matéria é denominada plasma. Podemos definir o plasma como um conjunto de partículas ionizadas e neutras que se comportam de modo coletivo.

No Universo, o plasma contém uma grande quantidade de contaminantes, denominados coletivamente por poeira. Os grãos de poeira são formados por material particulado, composto usualmente por carbonatos, silicatos e metais e, mesmo em menor quantidade que os átomos e moléculas do plasma, têm uma grande importância na dinâmica das partículas e dos campos eletromagnéticos que se propagam através do plasma.

Existem duas classificações relacionadas ao grau de contaminação do plasma: o *plasma com poeira*, onde a poeira é considerada uma coleção de grãos isolados eletricamente e o *plasma empoeirado*, onde a poeira também participa do processo de blindagem e do comportamento coletivo do sistema.

Os grãos de poeira contidos no plasma rapidamente tornam-se eletricamente carregados através de diversos processos. Os processos mais importantes que atuam no meio interplanetário são: (1) o acúmulo de carga por colisões totalmente inelásticas das partículas do plasma e (2) a emissão de cargas elétricas pelo efeito fotoelétrico gerado por fótons ultravioleta oriundos do Sol. Ambos os processos competem entre si, uma vez que o processo (1) tende a carregar a poeira negativamente, ao passo que o processo (2) a torna positivamente carregada. A carga final do grão de poeira depende de diversos fatores, tais como a densidade local do plasma, sua temperatura, a velocidade média relativa entre o grão e o plasma e o fluxo de fótons ultravioleta.

Neste trabalho estudamos o processo de carregamento elétrico de um grão de poeira através do processo (1), em uma situação onde este grão possui uma velocidade relativa em relação ao plasma. Mostramos que o grão, originalmente eletricamente neutro, adquire sempre uma carga negativa com o tempo, a qual aumenta em valor absoluto até atingir um estado estacionário. Mostramos também que o valor final da carga varia de uma forma inversa tanto com a velocidade relativa entre o grão e o plasma quanto com a própria densidade dos grãos de poeira.

2 METODOLOGIA (MATERIAL E MÉTODOS)

Para a realização dos estudos dirigidos, foram analisados os livros-textos do Chen (1984); Shukla & Mamun (2002); o artigo de revisão de Mann *et al.* (2004); Meyer-Vernet (2007); e Kimura & Mann (1998).

Consideramos apenas o processo de carregamento elétrico que ocorre devido às colisões totalmente inelásticas ocorrendo entre as partículas do plasma e o grão de poeira. A equação básica que rege este processo é (Kimura & Mann; 1998)

$$\frac{dQ}{dt} = \sum_k I_{inc,j} \quad (1)$$

onde Q é a carga elétrica líquida acumulada na superfície do grão de poeira e I_{inc} é a corrente elétrica incidente sobre a superfície do grão de poeira devida às partículas do plasma incidentes, quando o grão está se movendo com uma velocidade relativa w em relação ao Vento Solar. Esta corrente é dada pela expressão:

$$I_{inc,j} = 2\pi Z_j e \int_{v_{0j}}^{\infty} dv \int_0^{\pi} d\theta \sigma_j(v) f_j(v, \theta) v^3 \sin\theta \quad (2)$$

na qual Z_j é o número atômico da j -ésima espécie de partícula do plasma, e é a carga elementar, v é o módulo da velocidade de uma partícula da espécie j e θ é o ângulo entre v e w .

A quantidade $f_j(v, \theta)$ é a função de distribuição de velocidade da j -ésima espécie de partícula no plasma. As integrações na expressão (2) somam as correntes devidas a partículas do plasma que incidem sobre o grão, vindas de todas as direções do espaço e com todos os valores de velocidade a partir v_{0j} definida por:

$$v_{0j} = \begin{cases} 0, & Z_j \psi_j \leq 0 \\ v_{c_j}, & Z_j \psi_j > 0 \end{cases}$$

onde $\psi_j = e\phi/k_B T_j$, sendo e a carga elementar, ϕ o potencial elétrico gerado pela carga elétrica sobre a superfície do grão, k_B a constante de Stefan-Boltzmann, T_j e Z_j respectivamente a temperatura e o número atômico da espécie $j=e,i$.

Ainda na integral (2), a quantidade:

$$\sigma_j(v) = \pi a^2 \left(1 - \frac{v_{c_j}^2}{v^2} \right)$$

é a seção de choque de colisão da j -ésima partícula com o grão de poeira, sendo a o raio do grão.

Assume-se agora que as partículas do plasma são descritas por uma distribuição de velocidades de Maxwell-Boltzmann,

$$f_j(v, \theta) = \frac{n_j}{(2\pi)^{3/2} v_{Tj}^3} \exp \left[-\frac{1}{2v_{Tj}^2} (v^2 + w^2 - 2vw \cos\theta) \right],$$

sendo que a quantidade w , a qual é a velocidade relativa das partículas do plasma em relação ao grão, é um parâmetro fixo nesta formulação.

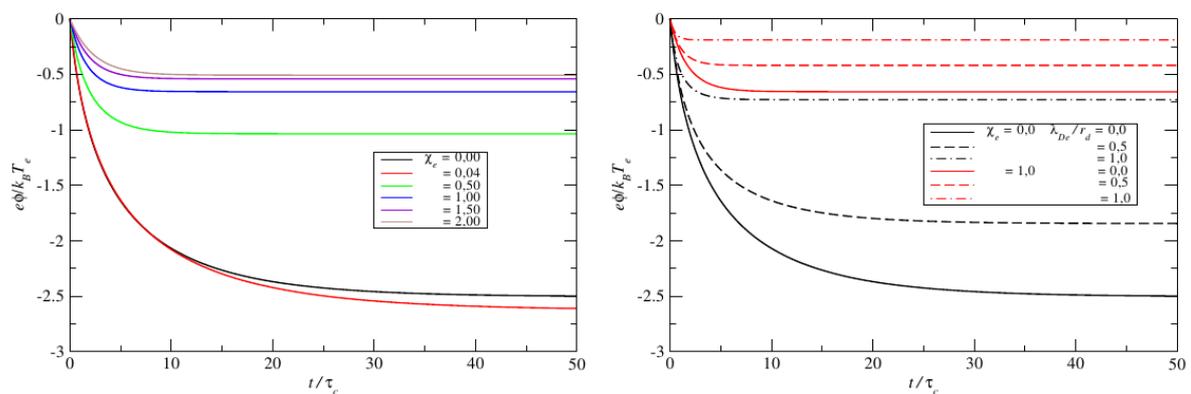
A equação (1) deve ser agora resolvida numericamente. Em primeiro lugar, nota-se que a variável dependente mais adequada para esta equação não é realmente a carga Q , mas sim o potencial elétrico sobre a superfície do grão, $\phi = Q/a$, o qual é tratado como um capacitor esférico. Nestes resultados iniciais, assumiu-se um plasma composto somente por elétrons ($j=e, Z_e=-1$) e prótons

($j=i, Z_i=+1$) e que as densidades de ambas as espécies são aproximadamente as mesmas $n_s \approx n_i \equiv n_0$.

A equação (1) é uma equação diferencial altamente não linear, a qual deve ser resolvida numericamente. Para resolver a equação desenvolveu-se um código numérico em Fortran 2003, no qual a equação diferencial é resolvida empregando-se o método de Runge-Kutta de 4ª ordem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

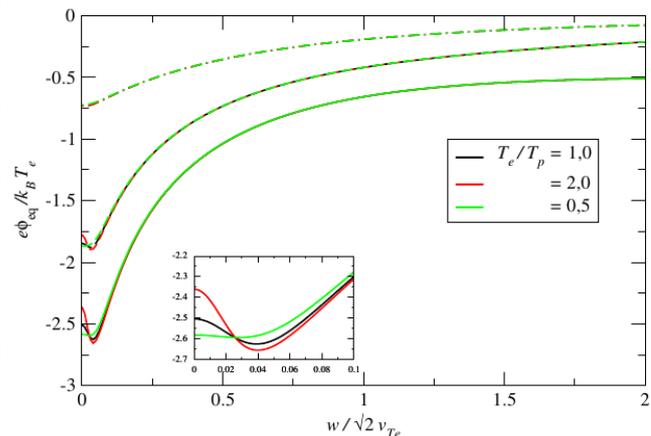
A solução numérica da equação (1) deve ser buscada como um problema de valor inicial. Assumiu-se que a carga inicial do grão de poeira é nula. Como considera-se somente o processo de carregamento por incorporação de partículas do plasma, é de se esperar que o potencial ψ_s e, por conseguinte, a carga Q , tenham valor final de equilíbrio negativo, uma vez que a mobilidade cinética dos elétrons é muito maior que a dos prótons, pela grande razão de massas $m_p/m_e = 1830$. Fixando então a razão de temperaturas $T_e/T_p = 1$, resolveu-se numericamente (1) para diversos valores do parâmetro $\chi_e^2 = \omega^2/2v_{Te}^2$ o qual é essencialmente a razão entre a energia cinética relativa do grão de poeira e a energia cinética térmica dos elétrons. Os resultados são apresentados na figuras abaixo.



A figura à esquerda mostra a variação temporal do potencial elétrico sobre a superfície do grão em função do tempo para diversos valores do parâmetro χ_e . Como era esperado, o potencial de equilíbrio, obtido para $t=50\tau_c$, é sempre negativo para todos os valores de χ_e , sendo τ_c o tempo característico de carregamento. Variando-se o parâmetro χ_e , observa-se que a carga final inicialmente aumenta até $\chi_e \approx 0,04$, passando então a se reduzir.

A figura à direita ilustra a diferença no carregamento do grão entre o caso de poeira no plasma ($\lambda_{De}/r_d < 1$) e de um plasma empoeirado ($\lambda_{De}/r_d \geq 1$) para dois valores particulares do parâmetro χ_e . No segundo caso a carga final é sempre menor, pois à medida que os grãos vão adquirindo carga elétrica, menos elétrons permanecem disponíveis no plasma para serem incorporados à poeira.

Finalmente, a figura à direita mostra o potencial de equilíbrio ϕ_{eq} obtido pela condição $\psi_e(t \rightarrow \infty)$. Esta condição resulta, em (1), em uma equação transcendental a partir da condição $dQ/dt=0$. As raízes desta equação fornecem o potencial de equilíbrio ϕ_{eq} . Observa-se que, em função do parâmetro χ_e , o potencial inicialmente aumenta em módulo, mas rapidamente diminui em magnitude, para qualquer razão de temperaturas.



4 CONCLUSÃO

Estudamos a evolução temporal da carga elétrica acumulada sobre a superfície de um grão de poeira, obtida a partir do processo de colisão inelástica entre o grão e o plasma. Mostramos que para este processo a carga final do grão é sempre negativa, para qualquer valor de temperatura do plasma e velocidade relativa entre o plasma e o grão. Mostramos também que a carga final em geral diminui com o aumento da velocidade relativa e com o aumento da densidade de grãos de poeira.

Trabalhos futuros irão incluir o efeito da emissão fotoelétrica, o qual entra em competição com o processo de carregamento estudado. A carga final do grão dependerá então dos parâmetros físicos do plasma em diferentes pontos do espaço interplanetário.

5 REFERÊNCIAS

- CHEN, F.F. **Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion: Plasma Physics**. New York: Plenum Press, Second Edition, 1984, 421pp.
- SHUKLA, P. K., MAMUN, A. A. **Introduction to Dusty Plasma Physics**. London: Institute of Physics Publishing, 2002, 270 pp.
- MANN, I, *et al.* **Dusty Near the Sun**. Space Science Reviews, v. 110, n.3-4, p. 269-305, Jan. 2004.
- MEYER-VERNET, N. **Basics of the Solar Wind**. New York: Cambridge, 2007, 463 pp.
- KIMURA, H., MANN, I. **The Electric Charging of Interstellar Dust in the Solar System and Consequences for its Dynamics**. The Astrophysical Journal, v. 499, n. 1, p. 454-462, May 1998.