

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

BRITO, Gabriel Chaves¹; GAELZER, Rudi²; SIMÕES, F. J. R³

¹ UFPel Universidade Federal de Pelotas – gabriel.chaves90@gmail.com

² UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul – rudi.gaelzer@ufrgs.br

³ UFPel Universidade Federal de Pelotas – fernando.simoes@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, além de seus componentes usuais: elétrons, prótons e íons, 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 ou de outras estrelas. 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 da ação conjunto dos processos (1) e (2), em uma situação onde este grão possui uma velocidade relativa em relação ao plasma. O ambiente físico a ser modelado consiste no Vento Solar, o qual é um fluxo permanente e variável de plasma ejetado pelo Sol e que permeia todo o espaço interplanetário. Mostramos que o grão, originalmente eletricamente neutro, adquire sempre uma carga positiva com o tempo, a qual aumenta em valor absoluto até atingir um estado estacionário. Os resultados obtidos evidenciam que o processo dominante no Vento Solar é o de emissão fotoelétrica.

2. METODOLOGIA

Para a realização dos estudos dirigidos, foram analisados os livros-texto Chen (1984) [2]; Shukla & Mamun (2002) [8] e os artigos ; Kimura & Mann (1998) [4]; Köhnlein (1996) [5]; Mann *et al.* (2004) [6]; Meyer-Vernet (2007) [7].

No ambiente interplanetário, os grãos de poeira estão continuamente expostos à radiação ultravioleta (entre outras) de origem solar. Esta radiação tem a capacidade de extrair elétrons da superfície do grão pelo efeito fotoelétrico. Como resultado deste processo, o grão tende a se carregar positivamente, o que constitui em um processo oposto, portanto competitivo, em relação ao processo de carregamento por colisões inelásticas.

A taxa de elétrons removidos do grão pelo efeito fotoelétrico depende principalmente dos seguintes fatores: (1) Fluxo dos fótons ultravioleta incidentes sobre o grão. Este fator depende da distância do grão da fonte de fótons UV, ou seja, do Sol. (2) Função trabalho dos materiais que compõe a superfície do grão.

Assumindo que os processos de carregamento elétrico são a emissão fotoelétrica e as colisões inelásticas do plasma com a poeira, então a carga do grão evolui de acordo com:

$$\frac{dQ}{dt} = I_{inc,p} + I_{inc,e} + I_{\nu}$$

Os termos de correntes colisionais ($I_{inc,p}$ e $I_{inc,e}$) estão descritos em Brito & Gaelzer (2012) [1]. A corrente de carregamento fotoelétrica (I_{ν}), por sua vez, é dado por $I_{\nu} = \pi a^2 e f g_{\nu}(\phi)$, sendo que

$$g_{\nu}(\phi) = \begin{cases} 1, & \phi < 0 \\ \left(1 - \frac{e\phi}{2k_B T_{\nu}}\right)^3 \exp\left(-\frac{e\phi}{k_B T_{\nu}}\right), & 0 \leq \phi \leq \frac{2k_B T_{\nu}}{e} \\ 0, & 0 \geq \frac{2k_B T_{\nu}}{e} \geq 0 \end{cases}$$

as quais são baseadas na eq. (22) de *Draine & Salpeter (1979)* [3]. Estas expressões colocam um limite superior no potencial elétrico que pode ser atingido na superfície do grão por fotoemissão.

Definindo-se então as quantidades adimensionais $\varphi(\tau) = e\phi/k_B T_{\nu}$, $\tilde{\tau} = t/\tau_f$, $\epsilon_j = n_j/n_0$ e $\chi_j^2 = w^2/2v_{Tj}^2$, o sistema de equações diferenciais ordinárias (EDO's) que descrevem a evolução da carga na superfície do grão e das densidades dos elétrons e prótons do Vento Solar fica escrito:

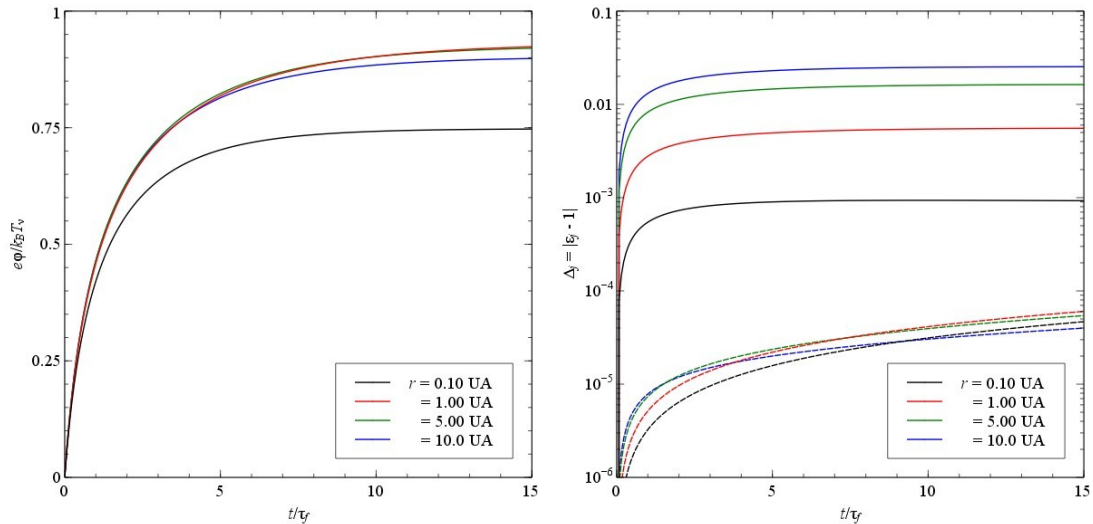
$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{d\tilde{\tau}} &= g_{\nu}(\varphi) + \frac{\tau_f T_e}{\tau_c T_{\nu}} \left[\frac{v_{Tp}}{v_{Te}} H(\chi_p) \epsilon_p - H(\chi_e) \epsilon_e \right] \\ \frac{d\epsilon_p}{d\tilde{\tau}} &= -4\pi \frac{a}{r_d} \frac{\lambda_{De}^2}{r_d^2} \frac{\tau_f}{\tau_c} \frac{v_{Tp}}{v_{Te}} H(\chi_p) \epsilon_p \\ \frac{d\epsilon_e}{d\tilde{\tau}} &= 4\pi \frac{a}{r_d} \frac{\lambda_{De}^2}{r_d^2} \left[\frac{T_{\nu}}{T_e} g_{\nu}(\varphi) - \frac{\tau_f}{\tau_c} H(\chi_e) \epsilon_e \right], \end{aligned}$$

o qual deve ser resolvido numericamente, uma vez que se trata de um sistema de EDO's não lineares e acopladas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para resolver o sistema de EDO's acima, partindo-se das condições iniciais $\varphi(0) = 0$ e $\varepsilon_p(0) = \varepsilon_e(0) = 1$, foi empregado o método de Runge-Kutta de 4ª ordem.

As figuras abaixo mostram as evoluções temporais do potencial elétrico na superfície do grão e das densidades das partículas do plasma para diversas distâncias radiais a partir do Sol.



Observa-se na figura da esquerda que o potencial elétrico sobre a superfície do grão é sempre positivo, evidenciando a emissão fotoelétrica como o processo dominante de carregamento elétrico. Já a figura da direita mostra a evolução da densidade dos elétrons (curvas contínuas) e dos prótons (curvas tracejadas) nos mesmos pontos. Para os últimos, deve-se observar que na realidade $\Delta_p < 0$, uma vez que os prótons são somente absorvidos pelos grãos de poeira.

4. CONCLUSÃO

Estudamos a evolução temporal da carga elétrica acumulada sobre a superfície de um grão de poeira, considerando-se ambos os processos de fotoemissão e colisões inelásticas entre o grão e o plasma. Mostramos que para estes processos a carga final do grão é sempre positiva e varia com a distância a partir do Sol. Novos estudos estão sendo realizados em outros ambientes de plasma espacial.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] BRITO, GABRIEL CHAVES; GAELZER, RUDI. **Processos de Carregamento Elétrico dos Grãos de Poeira Contidos no Plasma do Meio Interplanetário**. Anais do 21º Congresso de Iniciação Científica, UFPel, 2012.
- [2] CHEN, FRANCIS F. **Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion**. New York: Plenum Press, Second Edition, 1984, 421 pp.
- [3] DRAINE, B. T.; SALPETER, E. E. **On the Physics of Dust Grains in Hot Gas**. The Astrophysical Journal, v. 231, n. 1, p. 77-94, Jul. 1979.

- [4] 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.
- [5] KÖHNLEIN, W. **Radial Dependence of Solar Wind Parameters in the Ecliptic ($1.1 R_{\odot}$ - 61 AU).** Solar Physics, v. 169, n. 1, p. 209-213, Nov. 1996.
- [6] MANN, INGRID, *et al.* **Dust Near the Sun.** Space Science Reviews, v. 110, n. 3-4, p. 269-305, Jan. 2004.
- [7] MEYER-VERNET, NICOLE. **Basics of the Solar Wind.** New York: Cambridge, 2007, 463 pp.
- [8] SHUKLA, P. K. **Introduction to Dusty Plasma Physics.** New York: Taylor & Francis, 2000, 450 pp.