

1. Classificação <i>INPE-COM. 9/RRE</i>		2. Período <i>Julho de 1975</i>	4. Critério de Distribuição: interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/>
3. Palavras Chave (selecionadas pelo autor) <i>Alisamento de Linhas de Campo Magnético</i>			
5. Relatório nº <i>INPE-686-RRE/012</i>	6. Data <i>9 de julho de 1975</i>	7. Revisado por - <i>B. I. R. Obenshain</i>	
8. Título e Sub-Título <i>Alisamento das Linhas de Campo Magnético Interplanetário</i>		9. Autorizado por - <i>Luiz Gylvan Meira Filho</i> Diretor em exercício	
10. Setor <i>Ciência Espacial e da Atmosfera</i>	Código <i>4.01</i>	11. Nº de cópias <i>3</i>	
12. Autoria <i>René A. Medrano-B.</i>		14. Nº de páginas <i>7</i>	
13. Assinatura Responsável <i>René A. Medrano-B.</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>A macroestrutura do campo magnético interplanetário segue a forma da espiral de Arquimedes com centro no Sol. No entanto; a microestrutura tem uma forma randômica. Esta microestrutura faz com que os raios cósmicos solares (partículas carregadas) se difundam através das linhas de campo magnético, evitando a propagação livre das partículas ao longo das linhas de força. Investigou-se a dinâmica das linhas de força após as erupções solares e chegou-se à conclusão de que, pelo menos em certos casos, estas linhas podem ser alisadas por dois mecanismos. 1) Propagação de ondas MHD na frente do gás novo injetado durante a erupção ("driver gas"), e 2) pela pressão dos raios cósmicos solares sobre as linhas de força. Discutir-se-á as implicações deste estudo na interpretação de eventos comumente observados.</i>			
17. Observações <i>Trabalho a ser apresentado na XXVII Reunião Anual da SBPC. A versão completa (em inglês) será enviada para publicação na Revista Brasileira de Física.</i>			

ALISAMENTO DAS LINHAS DE CAMPO MAGNÉTICO INTERPLANETÁRIO*

Renê A. Medrano-B.*

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE

São José dos Campos - SP

RESUMO

A macroestrutura do campo magnético interplanetário segue a forma da espiral de Arquimedes com centro no Sol. No entanto, a sua microestrutura tem uma forma randômica. Esta microestrutura faz com que os raios cósmicos solares se difundam através das linhas de campo magnético, diminuindo a propagação livre das partículas ao longo das linhas de força. Um mecanismo de alisamento baseado na propagação de ondas MHD é proposto nesta comunicação. Como resultado da solução das equações linearizadas de conservação e dos resultados obtidos no modelo de dois fluidos para o vento solar, encontrou-se que o grau de atenuação das ondas Alfvênicas depende muito da temperatura da componente eletrônica do vento solar. As condições mais favoráveis para este mecanismo de alisamento se apresentam nas descontinuidades tangenciais que vão em frente do gás novo (injetado durante a erupção solar) nas ondas de choque interplanetárias.

1. - INTRODUÇÃO

Uma erupção solar (solar flare) em geral gera partículas energéticas (raios cósmicos solares) que depois se difundem no espaço interplanetário. À distância de uma unidade astronômica (1AU), e quando a inten

(*) - O trabalho completo será enviado para publicação à Revista Brasileira de Física com o título "Field Line Smoothing in the Interplanetary Space".

sidade dos raios c3smicos solares continua a decrescer, observa-se um acr3s
cimo no fluxo destas part3culas sem que, aparentemente, esteja relacionado
com alguma outra erup33o. Eventos deste tipo s3o chamados de "Energetic Storm
Particles (ESP)". As principais caracter3sticas desses eventos [1,2,3] po
dem ser resumidas assim:

- a) - existe uma correla33o muito grande entre os ESP e a ocorr3ncia
dos decrescimentos Forbush;
- b) - um aumento consider3vel na intensidade dos pr3tons com energias
>10 MeV;
- c) - em geral existe uma anisotropia paralela 3s linhas do campo mag
n3tico interplanet3rio.

2 - MODELO DE ALISAMENTO DAS LINHAS DE CAMPO

O problema que vamos tentar resolver est3 intimamente rela
cionado com o modelo de propaga33o dos ESP's proposto por [4]. Este modelo
sup3e que as linhas de for3a da cromosfera s3o levadas para fora pelo vento
solar com todas as suas irregularidades embora os dois lados das linhas de
campo permane3am no Sol. Os raios c3smicos solares, ent3o, encontram cen
tros de espalhamento nestas irregularidades e se difundem perpendicularmen
te 3s linhas de for3a. Intuitivamente podemos assemelhar o problema ao da
corda vibrante que tenta atingir o seu estado de equil3brio alisado. O pro
cesso de alisamento no caso das linhas de campo magn3tico seria devido 3
propaga33o das ondas magnetohidrodin3micas (MHD). Contudo, estas ondas se

atenuam num plasma de condutividade elétrica finita. Para saber em que condições as ondas MHD podem se propagar no plasma interplanetário sem ser significativamente atenuadas partiu-se das equações de conservação (continuidade, momento, energia e a ajuda da lei de Faraday) e linearizando-as chegou-se à seguinte expressão:

Continuidade:

$$\omega \delta \rho - \rho_0 \underline{k} \cdot \delta \underline{v} = 0$$

Momento:

$$\rho_0 \omega \delta \underline{v} + i \frac{\epsilon_0 \omega}{\mu_0 \sigma} (\underline{k} \times \delta \underline{B}) \times \underline{B}_0 + \epsilon_0 \omega (\underline{B}_0 \times \delta \underline{v}) \times \underline{B}_0 - \underline{k} \delta p + \frac{k}{\mu_0} (\underline{B}_0 \underline{B}_0 + \delta \underline{B} \underline{B}_0 + \underline{B}_0 \delta \underline{B}) - \left(\frac{k}{\mu_0} \frac{B_0^2}{2} + \underline{B}_0 \cdot \delta \underline{B} \right) = 0$$

Energia:

$$\frac{\omega}{\gamma - 1} \left(\delta p - \frac{p_0}{\rho_0} \delta \rho \right) - \rho_0 \underline{k} \cdot \delta \underline{v} = 0$$

Faraday:

$$\omega \delta \underline{B} = \frac{k^2}{i \mu_0 \sigma} \delta \underline{B} + \underline{B}_0 (\underline{k} \cdot \delta \underline{v}) - (\underline{B}_0 \cdot \underline{k}) \delta \underline{v}$$

onde ρ - densidade de massa; \underline{v} - velocidade das partículas; \underline{B} - campo magnético; p - pressão das partículas, γ - constante adiabática dos gases; σ - condutividade elétrica. Para simplificar os nossos cálculos foi suposto que a condutividade σ é isotrópica.

Orientando o sistema de coordenadas de maneira que $\underline{k} = (k_x, k_z)$; $B_0 = (B_z)$; e $\hat{\underline{k}} \cdot \hat{\underline{B}}_0 = \cos \theta$ e considerando o caso $\epsilon_0 \mu_0 V_A^2 \ll 1$ encontramos a seguinte relação de dispersão:

$$\omega = \underline{k} \cdot \underline{v}_A \left[1 - \frac{k^2}{(2\mu_0 \sigma V_A \cos \theta)^2} \right]^{1/2} - i \frac{k^2}{2\mu_0 \sigma}$$

Pode-se ver que a atenuação das ondas Alfvênicas é causada pelo termo imaginário $\alpha = -\frac{k^2}{2\mu_0 \sigma}$ e que é inversamente proporcional à condutividade elétrica (σ) do plasma.

Examinando a natureza de σ e fazendo uso do modelo de dois fluídos para o vento solar [5] chega-se à seguinte expressão para a condutividade elétrica no vento solar:

$$\sigma(r, T_{eo}, N_o) = \frac{A_1 T_{eo}^{3/2} r^{-3/4}}{\ln \left[\frac{A_2 T_{eo} r^{0.28}}{N_o^{1/3}} \right]}$$

onde $T_{e0}(1AU)$ e $N_0(1AU)$ - temperatura e densidade dos elétrons a 1AU. Esta equação mostra que a condutividade elétrica no vento solar é muito sensível a pequenas variações da temperatura dos elétrons. É quase insensível às variações de densidade do plasma. Logo, um aumento na temperatura do plasma diminui consideravelmente o fator de atenuação α . Isto implica que as ondas de Alfvén podem viajar muito mais longe sem muita atenuação. Portanto, o processo de alisamento é bem mais importante.

As ondas de choque interplanetárias trazem geralmente plasma quente. O máximo de temperatura está provavelmente na descontinuidade tangencial que separa o plasma antigo e o novo injetado durante a erupção solar. Conclui-se então, que neste tipo de descontinuidades poderá haver um processo de alisamento eficiente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BRYANT, D.A. et al., *J.Geophys.Res.*, 67, 4983, 1962.
- [2] RAO, U.R. et al., *J.Geophys.Res.*, 72, 4325, 1967.
- [3] DATLOWE, D., *J.Geophys.Res.*, 77, 5374, 1972.
- [4] MEDRANO, R.A. et al., *J.Geophys.Res.*, 80, 1735, 1975.
- [5] HARTLE, R.E. e STURROCK, P.A., *Astrophys.J.*, 151, 1155, 1968.