

SIMULAÇÕES PIC (PARTICLE IN CELL) DE PLASMAS COM FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES NÃO GIROTROPICAS

ROBERTA GONÇALVES SCHMITZ¹; FERNANDO JAQUES RUIZ SIMÕES JUNIOR²

¹Universidade Federal de Pelotas – beta.schmitz@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – fernando.simoes@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Plasmas magnetizados podem ser descritos utilizando uma função de distribuição do tipo $F(v_{\parallel}, v_{\perp})$ onde a velocidade possui componentes na direção paralela e perpendicular ao campo magnético ambiente. Entretanto, em plasmas espaciais frequentemente são encontradas populações de partículas cuja função de distribuição não depende apenas das velocidades, depende também do ângulo de giro ϕ . Esse tipo de distribuição, dependente do ângulo de giro, é conhecida como não girotrópica (MOTSCHMANN, 1997).

Quando estes plasmas estão imersos em um campo magnético externo, $B = B_0 \hat{x}$, sua função de distribuição de partículas torna-se dependente do ângulo de giro, neste caso dado por $\phi = \arctan(v_z/v_y)$ onde, v_z e v_y são as componentes da velocidade perpendicular ao campo (BRINCA, 1999). Os efeitos da não girotropia podem contribuir para o acoplamento dos modos paralelos de plasma se o sistema girotrópico pré-existente possuir energia livre suficiente que possibilite o surgimento de instabilidades. Por outro lado, em um meio estável, a não girotropia pode introduzir energia livre no sistema propiciando a formação de instabilidade e o crescimento de ondas eletromagnéticas ou eletrostáticas (BRINCA, 2000, 1992, 1993; ROMEIRAS, 1999).

A ocorrência da não girotropia está relacionada a três condições de plasma; primeiro; quando as dimensões dos processos não homogêneos do plasma são menores que o raio de giro das partículas carregadas. Isto ocorre na presença de intensos gradientes de campo magnético gerados em regiões de transição de domínios magnéticos; por exemplo, no arco de choque terrestre (Earth's Bow Shock), antes do choque os fenômenos são regidos pelo campo magnético interplanetário e passam a ser regidos pelo campo magnético terrestre após o choque; ou regiões de reconexão magnética. Segundo; quando ocorrem produção e perdas no espaço de velocidade das partículas devido à recombinação e ionização de partículas. Este processo produz uma diferença de densidade de partículas no plano perpendicular ao campo magnético ambiente. A terceira possibilidade para a geração da não girotropia ocorre quando as escalas não estacionárias do plasma são menores que o período de giro das partículas. Este fato gera uma modulação na função de distribuição produzindo uma rotação com um período de giro. O resultado é caracterizado por uma estrutura que gira no espaço com o formato de uma hélice (LEUBNER, 2003; MOTSCHMANN, 1997).

Observações recentes de distribuições de elétrons não girotrópicos na região do arco de choque realizadas pelo sistema de satélites Cluster, sugerem um mecanismo de congelamento de fase (fase fixa) (GURGIOLO, 2005), mas até o momento é impossível afirmar se as flutuações magnéticas seriam as responsáveis pela formação da assinatura não girotrópica ou se a não girotropia dos elétrons seriam fontes de instabilidades que poderiam produzir ondas.

Recentes trabalhos têm sugerido um novo mecanismo para o processo de geração eletromagnética em emissões de rádio solar tipo III (PECHHACKER, 2012a, 2012b; SCHMITZ, 2013; TSIKLARI, 2011), neste mecanismo distribuições não girotrópicas desempenham importante papel no processo de emissão.

Neste trabalho será analisada a influência da não girotropia de um feixe de elétrons no acoplamento entre os modos eletromagnéticos com propagação paralela ao campo magnético na presença de um plasma de fundo girotrópico. Serão realizadas simulações computacionais utilizando a técnica de partículas na célula, (PIC-codes). As simulações serão realizadas com base nos resultados teóricos já obtidos, após solução numérica da relação de dispersão de plasma não girotrópico (SIMÕES, 2011).

2. METODOLOGIA

O método utilizado para a realização do trabalho é simulação por partículas, via PIC – code (Particle in Cell). Para a realização das simulações é utilizado o código numérico KEMPO 1D (Kyoto university's ElectroMagnetic Particle cOde), o qual calcula as equações de movimento, de Maxwell e de continuidade de forma auto-consistente, considerando tanto os campos magnéticos gerados pelas partículas quanto os externos (SIMÕES, 2008). O código foi modificado a fim de considerar a não girotropia dos elétrons.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados preliminares mostram que a introdução de uma distribuição não girotrópica produz um crescimento da energia magnética do sistema, Figura (1), essa energia está relacionada com a emissão eletromagnética de ondas de plasmas. Na Figura (2) é apresentado a espaço de fase das partículas para as distribuições girotrópica (quadro esquerdo) e não girotrópica (quadro direito).

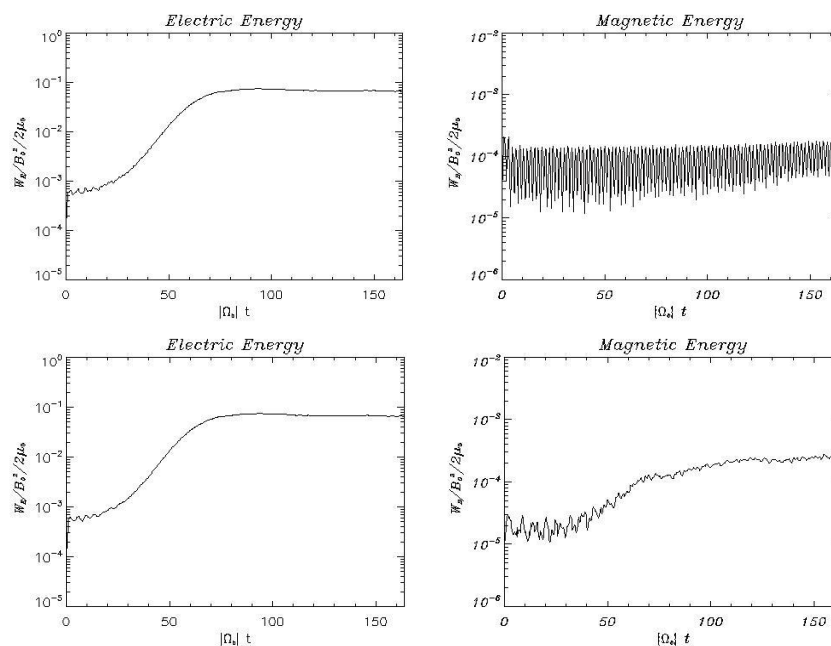


Figura 1: Energias elétrica e magnética para espécies girotrópicas (quadro superior) e não girotrópicas (quadro inferior).

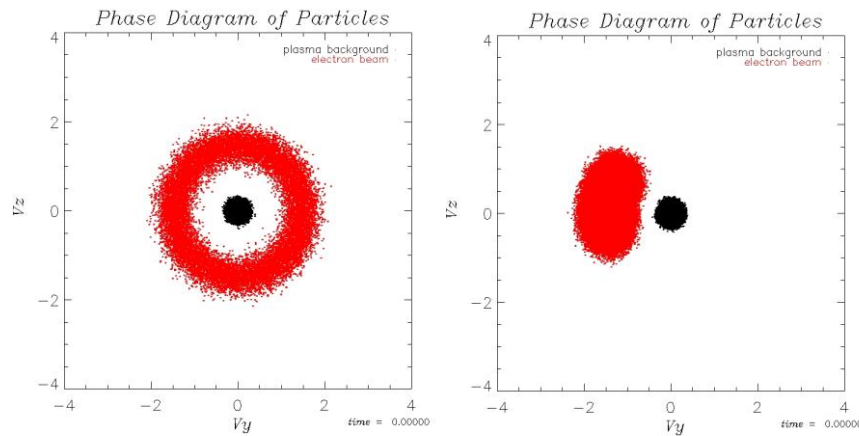


Figura 2: Espaço de fase das partículas, quadro esquerdo distribuição girotrópica, quadro direito distribuição não girotrópica.

Na Figura (2) o plasma ambiente é representado pelas espécies na cor preta enquanto que o feixe de elétrons girotrópico (quadro esquerdo) e não girotrópico (quadro direito) é representado pela cor vermelha.

4. CONCLUSÕES

Até o momento é possível observar que a não girotropia introduz uma fonte de energia livre no sistema, essa energia livre é responsável pelo crescimento da energia eletromagnética, relacionada com a energia magnética (Figura 1). Como este trabalho está em fase inicial, ainda serão necessárias a análise de outros diagnósticos (diagramas $\omega \times k$, espaço de fase, espectro de potência) para obtermos resultados mais conclusivos, estes diagnósticos serão trabalhados durante o decorrer da pesquisa de mestrado que se iniciou em abril de 2013.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRINCA, A. L. A first assessment of the free energy in nongyrotronic plasmas. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. v.62, n.8, p.701-709. 2000.

BRINCA, A. L. ÁGUA, B. L.; WINSKE, D. Nongyrotronicity as a source of instability and mode-coupling. **Geophysical Research Letters**. v.19, n.24, p.2445-2448. 1992.

_____. On the Stability of nongyrotronic ion populations: A first (analytic and simulation) assessment. **Journal of Geophysical Research-Space Physics**. v.98, n.A5, p.7549-7560. 1993.

BRINCA, A. L.; ROMEIRAS, F. J. On the stability of perpendicular electrostatic modes in stationary nongyrotronic plasmas. **Journal of Geophysical Research**, v.12, n.104, p.12,407-12,413. 1999.

GURGIOLO, C.; GOLDSTEIN, Y. N.; GLASSMEIER, K. H.; FAZAKERLEY, A. N. A phase locking mechanism for nongyrotronic electron distributions upstream of

the Earth's bow shock. **Journal of Geophysical Research - Space Physics**. v.110, n.A6, p.3153-3156. 2005.

LEUBNER, M. P. An analytical representation of non-gyrotropic distributions and related space applications. **Planetary and Space Science**. v.51, p.723-729. 2003.

MOTSCHMANN, U.; KAFEMANN, H.; SCHOLER, M. Nongyrotropy in magnetoplasmas: simulation of wave excitation and phase-space diffusion. **Annales Geophysicae**. v.15, p603-613, 1997.

PECHHACKER, R.; TSIKLAURI, D. Electron cyclotron maser emission mode coupling to the z-mode on a longitudinal density gradient in the context of solar type iii bursts. **Physics of Plasmas**. v.19, n.11, p.110702. 2012b.

_____. The effect of electron beam pitch angle and density gradient on solar type iii radio bursts. **Physics of Plasmas**. v.19, n.11, p.112903. 2012a.

SCHMITZ, H.; TSIKLAURI, D. The effect of initial conditions on the electromagnetic radiation generation in type iii solar radio bursts. **Physics of Plasmas**. v.20, n.6, p.062903. 2013.

SIMÕES JR., F. J. R. **Simulação Computacional de Emissões Eletromagnéticas em Plasmas Espaciais**. 2008. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Geofísica Espacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

SIMÕES JR., F. J. R.; ALVES, M. V.; CARDOSO, F. R.; COSTA JR., E. Influence of electron nongyrotropy and anisotropy on parallel wave propagation: Numerical solution of dispersion relation. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. v.73, p.1511-1519, 2011.

TSIKLAURI, D. An alternative to the plasma emission model: Particle-in-cell, self-consistent electromagnetic wave emission simulations of solar type iii radio bursts. **Physics of Plasmas**. v.18, n.5, p.052903. 2011.