

Evolução Dinâmica de um Gás Ideal Eletricamente Carregado em uma Garrafa Magnética

Vinícius Moraes Faria
Rudi Gaelzer

Referencial Teórico

A matéria que conhecemos é basicamente classificada em termos de quatro estados, conforme a intensidade das ligações entre suas partículas constituintes: sólido, líquido, gasoso e plasma. O plasma é, de forma simplificada, um gás ionizado – ou seja, uma coleção de partículas carregadas e neutras – que está sujeito a alguns comportamentos coletivos característicos.

Garrafa Magnética

Uma Garrafa Magnética é capaz de aprisionar uma fração substancial de partículas eletricamente carregadas no seu interior, de acordo com a razão entre as componentes perpendicular e paralela ao campo de suas velocidades – a Razão de Aspecto. Ela determina uma região no espaço de velocidade das partículas chamada Cone de Perda. As cargas situadas no interior do cone escapam, enquanto aquelas situadas no exterior do cone são retidas na garrafa. Isto ocorre porque, conforme as partículas deslocam-se num campo de intensidade crescente, surge uma força de Lorentz paralela ao campo e oposta ao seu sentido de deslocamento, que reverte o movimento das cargas exteriores ao cone de perda. Este efeito é chamado Espelhamento Magnético.

Simulação Computacional

Para campos magnéticos uniformes e constantes, o movimento das partículas é descrito por equações diferenciais lineares e pode-se obter uma solução analítica. Para campos não uniformes e não estacionários, as equações de movimento não são lineares e faz-se necessário o uso de métodos de integração numérica. Foram, então, desenvolvidos e implementados códigos numéricos em C++, com interface gráfica em Python, para a solução das equações de movimento de partículas carregadas na configuração de campo chamada Garrafa Magnética – na qual um campo magnético não uniforme é gerado pela corrente elétrica que percorre duas Bobinas de Hemholtz, separadas por uma distância maior que o raio das mesmas. Neste contexto, o sistema de equações relacionado é tratado como um problema de valor inicial e resolvido numericamente empregando-se o método de Runge-Kutta de 4a ordem com passo temporal fixo.

Referencial Bibliográfico

Referências

- [1] J. D. Jackson. *Classical Electrodynamics*. John Wiley & Sons, New York, 3rd edition, 1999. 808 + xxipp.
- [2] A. B. Olde Daalhuis. *Hypergeometric Function*. In Frank W. J. Olver, Daniel W. Lozier, Ronald F. Boisvert, and Charles W. Clark, editors, *NIST Handbook of Mathematical Functions*, chapter 15, pages 383–401, Cambridge, New York, 2010. <http://dlmf.nist.gov/15>.
- [3] Nivaldo A. Lemos. *Mecânica Analítica*. Livraria da Física, São Paulo, 2a ed., 2007. 386+vi pp, URL: <http://books.google.com.br/books?id=XpOS2eOdDR4C>.
- [4] J. A. Bittencourt. *Fundamentals of Plasma Physics*. Springer-Verlag, New York, 3rd edition, 2004. 678 pp.
- [5] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery. *Numerical Recipes 3rd Edition: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, 2007. 1235+xxi pp. URL: <http://books.google.com.br/books?id=1aA0dzK3FegC>.
- [6] K. Huang. *Statistical Mechanics*. Wiley, New York, 2nd edition, 1987. URL: <https://books.google.com.br/books?id=hhq6QgAACAAJ>.
- [7] J. L. Ferreira, F. da Silva, and I. S. da Rêgo. *A Multi Magnetic Mirror Machine for Plasma Production with Electron Cyclotron Resonance*. *Revista de Física Aplicada e Instrumentação*, 17(2):54–59, June 2004.

Movimento e Distribuição de Partículas

A dinâmica em um plasma é governada por campos elétricos e magnéticos internos (gerados pelo movimento das cargas) e externos (aplicados por outras fontes). As interações entre as partículas são de caráter eletromagnético. Uma partícula carregada qualquer que interage com um campo magnético sofre uma força proporcional ao produto vetorial de sua velocidade com o campo, tendo seu movimento alterado de modo a realizar uma trajetória circular ao redor de uma determinada linha de campo. Havendo velocidade na direção do campo, o movimento torna-se uma espiral ao redor da linha de campo, orientada de acordo com o sinal da carga.

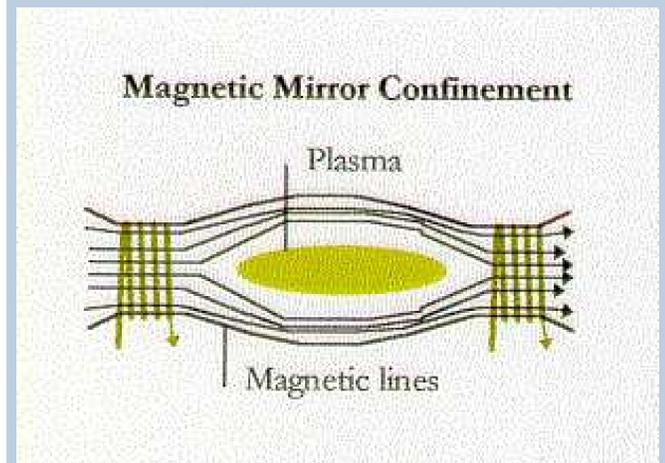
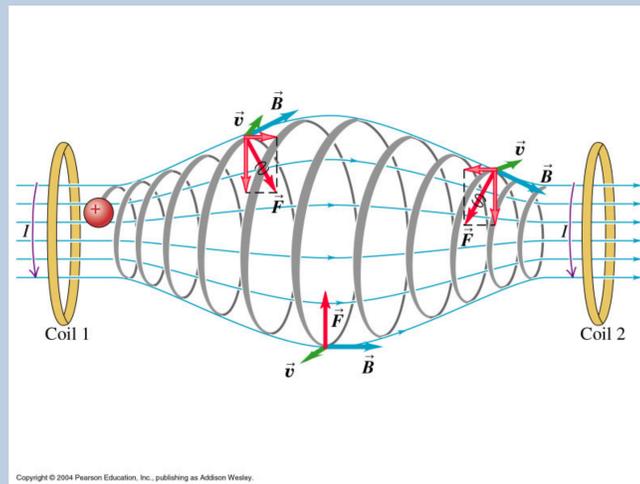


Figura 1: Movimento de uma única partícula carregada e Distribuição de N partículas carregadas em uma Garrafa Magnética

Resultados

Foram estudadas as trajetórias de uma única carga elétrica dentro da Garrafa Magnética, com diferentes condições iniciais e o comportamento de uma coleção de partículas carregadas independentes (i. e., tratadas como um gás ideal) com valores iniciais de velocidade dados conforme uma distribuição de velocidades de Maxwell-Boltzmann, com a sua temperatura associada. Desta forma, pode-se estudar dinamicamente a formação do cone de perda na distribuição de velocidades, a partir de uma distribuição isotrópica. Seguem abaixo algumas imagens dos resultados obtidos:

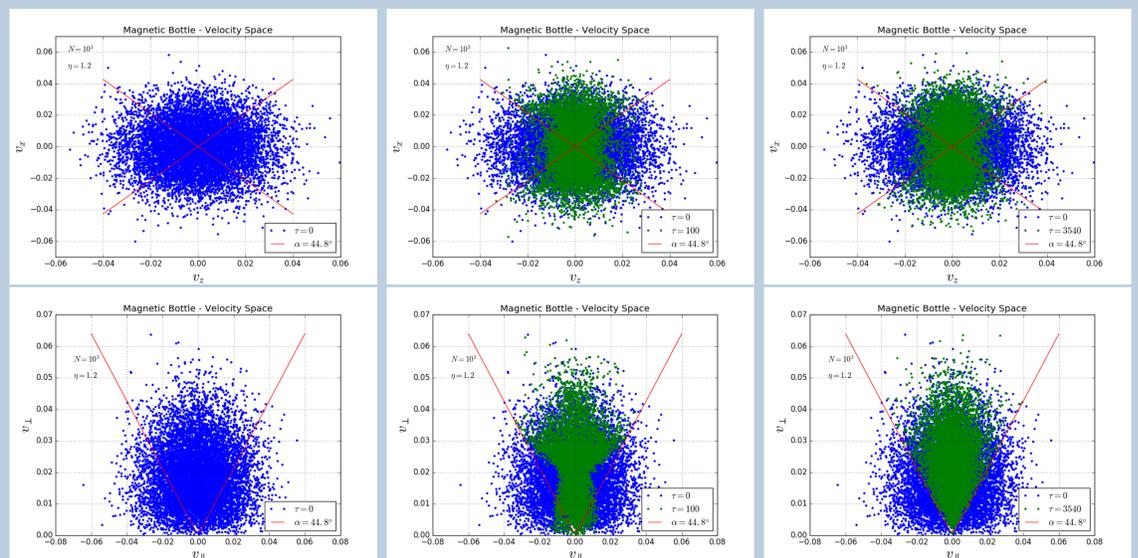


Figura 2: Processo de formação do Cone de Perda em uma Garrafa Magnética

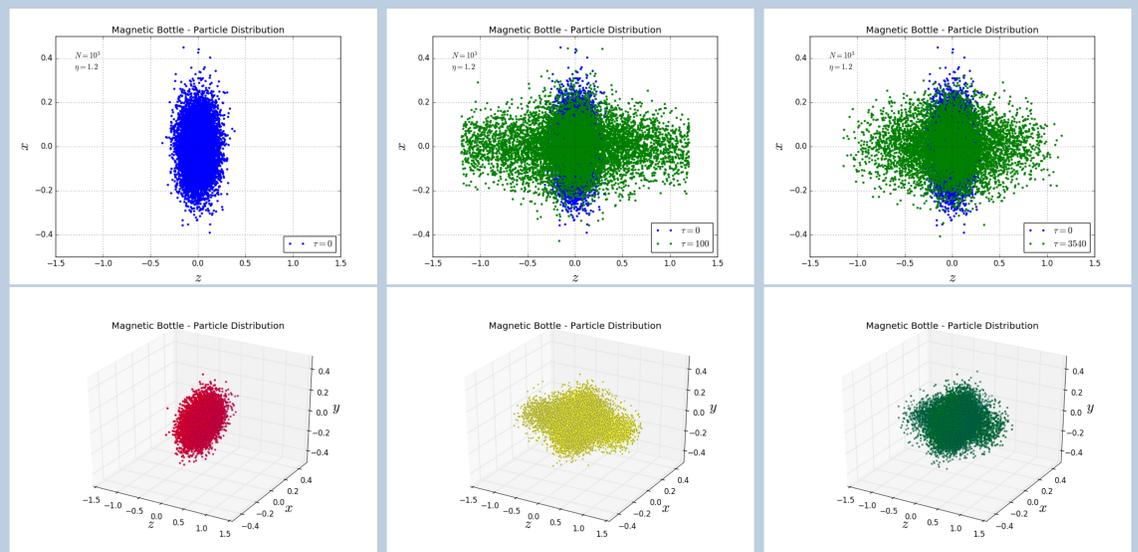


Figura 3: Distribuição de partículas em uma Garrafa Magnética