

ダイポール磁場配位における低エネルギー荷電粒子の カオス軌道の効果と実験的応用の検討

学生証番号 47206078 氏名 谷岡 樹
(指導教員 齋藤 晴彦 准教授)

Key Words : dipole magnetic field, pair plasma, orbit chaos, magnetic null

等質量の荷電粒子から構成されるプラズマはペアプラズマと呼ばれ、通常のイオン電子プラズマが持つ多くのモードが縮退した分散関係を持つこと、安定性の維持が困難な密度勾配に対し安定性を持つことなど、特異な特性が予測されている。ペアプラズマの一種である電子陽電子ペアプラズマ実験の実現に向けて、複数種類の電荷を持つ粒子の同時閉じ込めが原理的に可能で、正準角運動量の保存から優れた閉じ込め性能が予測されているダイポール磁場配位を用いる研究がなされている。ダイポール磁場中に置かれた荷電粒子源から粒子を入射することを考えると、プラズマの高密度化には径方向への圧縮が必要となる。提案されている外部電場を用いた粒子の径方向圧縮を適応するには、入射した粒子が再び入射源位置に戻って消滅するまでに長い飛行距離（カオスの軌道）を持つことが望ましい。ダイポール磁場中の粒子の断熱不変量が保存しない場合は、ハミルトニアンと正準角運動量のみが保存量となり、保存量の数が系の自由度3を下回ることから粒子軌道は非可積分となり[1]、飛行距離の長いカオスの軌道を取り得る。陽電子のような希少粒子をプラズマとして生成するため低エネルギー・高密度が要求されるため、小型の実験装置が望ましい。RT-1装置で実証されている高エネルギー陽電子が持つように[2]、小型ダイポール装置で低エネルギー陽電子のカオスの軌道が得られるのか、どういった初期条件でカオスの軌道となるのかを知ることは粒子の径方向圧縮実現に向けて重要である。そこで本研究では、開発を進めている小型ダイポール装置における荷電粒子のカオスの軌道の効果の評価を目的とする。また、小型ダイポール装置による実験に向けて、装置に採用される冷却系による磁場発生用超伝導コイル運転についての検証を行った。

小型ダイポール装置で低エネルギー陽電子（ $\sim 200\text{eV}$ ）の軌道計算を行い、カオス出現の条件と飛行距離を評価した。まず、陽電子がカオスの軌道となる条件を系統的に調査する目的で、指標 $\alpha = (\mu_{max} - \mu_{min})/\mu_p$ を使用した。ここで、陽電子の μ を時間的に追跡したときの最大値を μ_{max} 、最小値を μ_{min} 、初期値を μ_p とする。計算では閉じ込め領域に支持物のない磁気浮上型を採用した小型ダイポール装置を想定し、円柱型真空容器中央のFコイルによる磁場と真空容器中央上部に設置したLコイルによる磁場を加えた磁場配位を与えている。粒子軌道は初期条件として与えるエネルギーの他、磁力線と粒子の初期入射方向とのなす角であるピッチ角にも依存するため[2]、各エネルギー・各ピッチ角に対して、ポアンカレプロットを用いて α と陽電子軌道の対応付けを行った。その結果、 100eV 以下の陽電子がカオスの軌道を持つことが示された。また、陽電子の入射位置を真空容器側にすることや閉じ込め領域に磁場ヌルを生成することにより、入射位置での磁場を弱くするとカオスの軌道を持つ陽電子の割合が増えることが示された。次にランダムな方向に陽電子を入射し、周期的軌道・カオスの軌道による平均飛行距離の比較を行った。その結果、カオスの軌道が周期的軌道より長い平均飛行距離を示した。今回計算した条件では陽電子の周期的軌道に対するカオスの軌道の平均飛行距離が最大で27倍であった。

小型ダイポール装置の冷却系での超伝導コイル運転を検証するため、超伝導コイル巻線による試験を行った。コイル巻線の磁場計算結果を高温超伝導線材（住友電線DI-BSCCO）の臨界電流特性と比較した結果、目標電流値である 100A を十分実現可能な 30K を目標到達温度とした。目標到達温度を実現するため、コイル巻線の機械的強度向上と高熱伝導化を図り、エポキシ樹脂と窒化アルミフィラを混合した含浸剤を使った試験線材の冷却試験を行った。その結果、小型ダイポール装置の冷却系において超伝導線材表面 25.6K を実現し目標温度以下を実現した。

参考文献

- [1] S. Murakami *et al.*, Phys. Fluids B, **2**, 715 (1995).
- [2] H. Saitoh *et al.*, Phys. Rev. E, **94**, 043203 (2016).