

# ダイポール磁場配位を用いた陽電子捕獲とペアプラズマ生成に向けた試み

東大<sup>1</sup>, マックスプランク・プラズマ研<sup>2</sup>, ミュンヘン工科大<sup>3</sup>, ローレンス大<sup>4</sup>, カリフォルニア大サンディエゴ校<sup>5</sup>  
齋藤晴彦<sup>1</sup>, J. Horn-Stanja<sup>2</sup>, S. Nissl<sup>2</sup>, M. Singer<sup>3</sup>, E.V. Stenson<sup>3</sup>, U. Hergenahn<sup>2</sup>, T. Sunn Pedersen<sup>2</sup>,  
M. Dickmann<sup>3</sup>, C. Hugenschmidt<sup>3</sup>, M.R. Stoneking<sup>4</sup>, J.R. Danielson<sup>5</sup>, C.M. Surko<sup>5</sup>

## Toward the trapping of positrons and formation of pair-plasmas in a dipole magnetic field

U. Tokyo, IPP, Tech. U. Munich, Lawrence U., U. California San Diego, H. Saitoh *et al.*

大強度陽電子源を使用して、ダイポール磁場中で陽電子をプラズマとして捕獲し、さらに等量の電子との同時閉じ込めにより、ペアプラズマの生成とその物性解明を目指す研究を進めている[1]。核融合学や基礎プラズマ等の分野で扱われるプラズマは通常、質量が大きく異なるイオンと電子から構成される。プラズマとしての安定性や波動特性等の多くの性質は、質量の著しい非対称性に基づき定式化されたものが多い。これに対して、質量が等しい荷電粒子から構成される「ペアプラズマ」は、通常のプラズマとは異なる性質を示す事が予測されており、プラズマ物理の分野で活発な理論及び数値計算による研究対象となっている。一方で、磁場閉じ込めによる電子陽電子プラズマの生成は、様々な努力にもかかわらず、これまで実験的には実現されていない。電子陽電子ペアプラズマを生成する実験上の困難として、大強度の低速陽電子ビームが入手困難である事と、陽電子を電子と共にプラズマとしての安定閉じ込めを実現する配位が確立していない事が挙げられる。閉じ込め配位としてダイポール磁場を用いた電子陽電子プラズマの生成を目指して、ミュンヘン工科大学の研究用原子炉 FRM-II を利用した大強度陽電子源 NEPOMUC[2]において実験研究を開始した[3]。円環電流の作り出すダイポール磁場は、天体現象に観察される惑星磁気圏と類似した軸対称な磁場配位である。ダイポール磁場中で、荷電粒子の閉じ込めは正準角運動の保存により実現される。このため、粒子の電荷符号に依存せず、電子陽電子プラズマの純磁場閉じ込めが実現可能である。過去の純電子を使用した実験では、非中性プラズマの長時間に渡る安定閉じ込めが実証されており[4,5]、原理的にはこれを電子の反粒子である陽電子にも適用する事が出来る。目標として、 $10^{10}$  個オーダー以上の数 eV の陽電子を、磁気浮上超伝導コイルが作り出す 10L 程度の閉じ込め体積に捕獲する事で、プラズマ現象が出現するデバイ長等の条件を実現する事を計画している。

計画を実現する上で、1.線源強度の限定される陽電子ビームを高効率でダイポール磁場中に入射する事、2.入射した陽電子の安定閉じ込めを実現する事、3.捕獲した陽電子群を高密度化し、プラズマ状態での捕獲を実現する事、が重要な課題となる。超伝導コイルを用いたトラップ装置の開発に先立ち、我々はこうした点に着目し、永久磁石を使用したプロトタイプダイポール磁場トラップ(図 1)を用いて、NEPOMUC の open beam port で陽電子実験を行っている。ビームラインから供給される 5eV の陽電子ビームは、E×B 電極が生成する局所的な電場により閉じ込め領域へとドリフト入射する。入射後の陽電子に対して、トロイダル方向に分割された電極の作る回転電場を短時間適用する事で径方向圧縮を行う。ダイポール磁場に捕獲された陽電子群の閉じ込め特性は、511keV の消滅ガンマ線を計測する事で評価した。入射及び閉じ込めの電磁場配位の最適化により、ほぼ損失の無い陽電子入射[6]と 1 秒以上の長時間閉じ込め(図 2)[7]が実現された。こうした基礎実験結果に基づいて、現在、Bi-2223 高温超伝導線材を用いたコイル巻線による磁気浮上装置の開発を核融合科学研究所との共同研究により進めている。

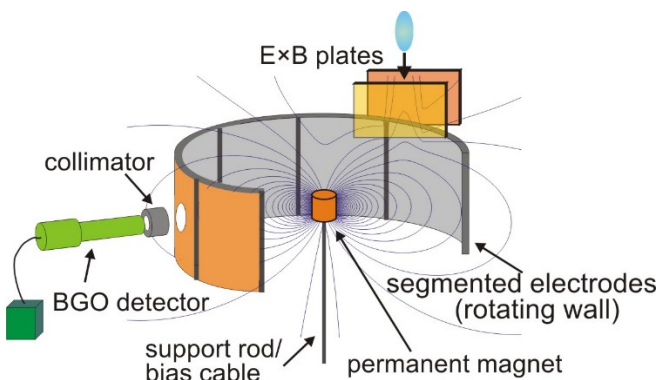


図 1: 陽電子ビームの入射と閉じ込め実験を行う永久磁石を使用したダイポールトラップの模式図。

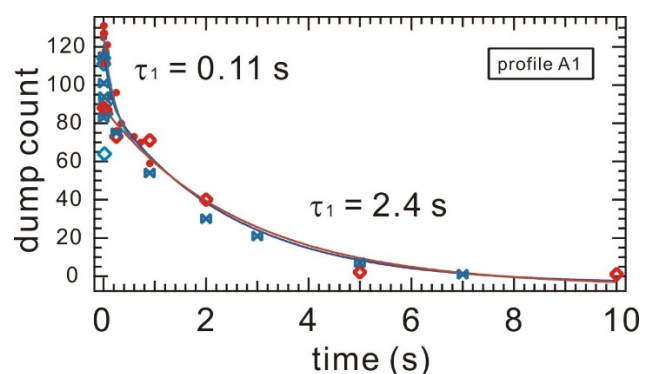


図 2: 永久磁石ダイポール磁場トラップに捕獲された陽電子群の閉じ込め時間の計測例。

1. T. Sunn Pedersen *et al.*, New J. Phys. **14**, 035010 (2012). 2. C. Hugenschmidt *et al.*, New J. Phys. **14**, 055027 (2012). 3. H. Saitoh *et al.*, New J. Phys. **17**, 103038 (2015). 4. H. Saitoh *et al.*, Phys. Rev. Lett. **92**, 255005 (2004). 5. Z. Yoshida *et al.*, Phys. Rev. Lett. **104**, 235004 (2010). 6. E.V. Stenson *et al.*, Phys. Rev. Lett., accepted (2018). 7. J. Horn-Stanja, *et al.*, Phys. Rev. Lett., accepted (2018).