

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	加 賀 千翔人
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論 文 題 目			
Studies on the mixing processes of particles with different signs of charges in a magnetic field (磁場中での異符号荷電粒子混合過程についての研究)			
論文審査担当者			
主 査	准 教 授	檜 垣 浩 之	
審査委員	教 授	岡 本 宏 己	
審査委員	教 授	栗 木 雅 夫	
審査委員	教 授	世 良 正 文	
〔論文審査の要旨〕			
<p>荷電粒子多体系であるプラズマは宇宙プラズマや核融合プラズマから半導体製造用のプロセスプラズマ等の産業利用に至るまで実に様々なプラズマが研究されている。本論文の研究対象は非中性プラズマと呼ばれ、比較的低温、低密度であるが、プラズマ全体として中性ではなく電荷を帯びているのが最大の特徴である。この特徴により、一様磁場中では剛体回転平衡と呼ばれる熱平衡状態が存在し、超高真空中で閉じ込め時間が実質的に無限となることが実験で確認されている。この特性を利用し、近年では Penning-Malmberg trap と呼ばれる荷電粒子閉じ込め装置に陽電子や反陽子を非中性プラズマとして大量に閉じ込めて低エネルギーの反水素原子を合成し、基礎物理研究が進められている。一方でプラズマ物理としてはペアプラズマと呼ばれる異符号、同質量の荷電粒子からなるプラズマについて興味をもたれ様々な理論研究が報告されているが、実験的検証がほとんどなされていない。そこで、本論文の著者は電子-陽電子プラズマというペアプラズマの一種について磁気ミラー装置を用いて閉じ込める可能性を計算機シミュレーションで検討するとともに実験を行った。またこれまでプラズマとしての振る舞いが検討されていなかった nested Penning trap において陽電子プラズマに反陽子プラズマを入射する過程についても、陽電子プラズマを陽子プラズマで近似することにより計算機シミュレーションを行った。</p> <p>本論文の冒頭では研究内容と関連する非中性プラズマの基礎特性について述べるとともに、計算機シミュレーションの手法および実験装置の解説をしており著者の研究成果については第4章以降にまとめている。第4章では実際の実験で用いる磁気ミラー閉じ込め装置の磁場コイルと電極を配置して、磁気ミラー内部の調和ポテンシャルに低エネルギーの非中性電子プラズマと非中性陽電子プラズマを用意し、粒子間衝突のない理想的な状態で計算機シミュレーションを行った結果を示している。電子と陽電子を混合するにあたっては調和ポテンシャルを形成している電極の電圧を断熱的に 0V にすることにより結果として荷電粒子のエネルギーが下がり、磁気ミラー閉じ込めにより適した状態になることが確認された。その際、速度空間にお</p>			

いては電子と陽電子はそれぞれエネルギーに依存した振動を行い速度分布が逆位相の縞模様になることが明らかになるとともに粒子間衝突を考慮しても数 MHz の電子-陽電子プラズマ振動は計測可能であり、当該装置による電子-陽電子プラズマ閉じ込めの可能性が示唆された。

第 5 章では低エネルギーの電子と陽電子を磁気ミラー装置に閉じ込めた初めての実験結果と実験に即した計算機シミュレーションの結果について報告している。実際の実験では陽電子蓄積用の窒素バッファーガスの影響で真空が劣化し粒子間衝突が影響する状態ではあるが、70ms の陽電子閉じ込め時間と 30ms の電子閉じ込め時間を確認できた。この結果により装置を改良することで磁気ミラーを用いた電子-陽電子プラズマの実験研究の目途がついたといえる。また装置は異なるが、双極子磁場等を用いて電子-陽電子プラズマの実験を目指しているマックスプランク研究所のグループに先行して電子-陽電子の同時閉じ込めを実現できた意義は大きいといえる。

従来、陽電子プラズマと反陽子の相互作用としては原子物理的な衝突過程が主に研究されてきたが、陽電子プラズマと反陽子群のプラズマとしての相互作用については検討されていなかった。この点について陽電子プラズマを陽子プラズマで近似して計算機シミュレーションで調べた結果が第 6 章に述べられている。得られた結果は反陽子群が陽子プラズマの軸とずれて入射されると双方に diocotron 振動が励起され密度が下がり、反水素原子生成率が減少する可能性を指摘しており、本論文の著者も参加した反水素原子ビーム生成実験において生成率を向上するための重要な改善点を指摘したといえる。

以上のように本論文の著者が計算機シミュレーションや実験を通して異符号をもつ荷電粒子群(プラズマ)の混合過程についてもたらした新たな知見は電子-陽電子プラズマや反水素原子ビームの実験を進展させるうえで非常に有用である。よってこの著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。