

氏 名	瀧 塚 知 典 たぎ づか とも のり
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 573 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 原 子 核 工 学 専 攻
学位論文題目	Roles of Binary Collisions in the Confinement and Heating of Plasmas (プラズマの閉込めと加熱に対する二体衝突の役割)
論文調査委員	(主 査) 教 授 秋 宗 秀 夫 教 授 宇 尾 光 治 教 授 飯 吉 厚 夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は磁界に保持されたプラズマのイオンまたは電子のサイクロトロン共鳴加熱，プラズマの輸送やエネルギー緩和，さらに開放端のある静磁界に高周波電界を重畳してプラズマ閉じ込めの改善を計る方式などの各場合について粒子間の二体衝突効果を考慮した一連の理論的研究ならびに計算機実験の結果をまとめたもので4章よりなっている。

第1章は序論でこの論文が関連する研究の概要が述べられ，これらの研究における各章の位置付けがなされている。

第2章では磁気ミラーに閉じ込められたプラズマの加熱手段として，磁気ミラー間のある領域でイオンまたは電子のサイクロトロン運動に共鳴する一定周波数の高周波電界が加えられた場合の粒子間の二体衝突効果を取り扱っている。荷電粒子が共鳴域を繰返し通過する場合，二体衝突があるとそのサイクロトロン運動の位相がランダム化され，選択加速が軽減される可能性のあることに着目し，粒子がサイクロトロン運動と磁気ミラー間の往復運動 (bounce motion) の2つの周期運動をする場合に二体衝突効果を取り入れ，サイクロトロン運動の位相変化の分散を求めてそのランダム化をしらべている。その結果衝突周波数が磁気ミラー間の往復運動の周波数に較べて十分小さい場合でも共鳴域におけるサイクロトロン運動の位相のランダム化が進み，加熱効果が現われることを見出している。さらに磁気ミラーやプラズマの諸量が与えられたとき，このような加熱効果が得られる粒子エネルギーの閾値を求める関係を導いている。

第3章ではプラズマ中のエネルギー緩和やプラズマの輸送などをしらべる目的で開発した電子計算機による粒子コード・シミュレーションについて述べている。このシミュレーションでは有限長粒子法とモンテカルロ法の組合せを用い，後者の方法でとくに二体衝突効果のシミュレーションの精度をあげている。このシミュレーションではまずプラズマは多数のシェルに細分され，初期条件が与えられる。粒子数の多い場合には全体のシェルを区分し，その1区分のみが速いメモリーに，他はディスクに貯えられる。この1区分の粒子の運動が1つの時間きざみ間に有限長粒子法で計算され，続いて二体衝突が計算される。こ

のような計算の繰返しが逐次行なわれる。衝突計算では適当な統計手法によって2個のイオン、2個の電子、イオン-電子の対が定められ、これらの対について座標の実験室系-重心系変換によって計算が行なわれる。以上の計算法を検証するために、一例としてマクスウェル速度分布をもつイオンとシフトしたマクスウェル速度分布をもつ電子からなるプラズマ中のエネルギー緩和の計算に適用され、ランダウ衝突積分を用いた理論で得られた結果と照合され、よい一致が得られることを述べている。

第4章ではプラズマ閉じ込めの磁界配位として環状四重極磁界が用いられ、その磁力線の開放端に粒子の損失を軽減し併せてプラズマを加熱するためのイオン・サイクロトロン周波数近傍の周波数の高周波電界が加えられるような系を計算機実験によってしらべている。高周波電界が加えられない場合の粒子損失機構、すなわち粒子間衝突による損失角への散乱、磁界の急激な空間変化による磁気モーメントの断熱不変性の消失、および環状系では不可避な磁界強度の勾配による拡散係数の増加が評価され、磁力線の開放端に加えられる高周波電界による粒子損失軽減とプラズマの加熱の両効果がしらべられている。この結果、粒子損失軽減に必要な高周波電界の強さがイオンのエネルギーに関係し、したがって粒子損失軽減の作用が持続するためにはプラズマの加熱が進むのと並行して高周波電界の強さを変化させる必要のあることを見出している。この場合高周波電界の帰還制御を行なうと、高周波電界を加えない場合に較べてプラズマ加熱の効果が得られるのと併せてプラズマのエネルギー閉じ込め時間が約10%改善される可能性のあることを示している。

論文審査の結果の要旨

核融合研究において、プラズマの閉じ込めや加熱などに関する問題を理論的に解析するには粒子間の衝突の効果の適切な取り扱いが必要である。しかし問題が十分簡単化された例を除き衝突効果を解析的にしらべるのは困難であり、電子計算機による数値計算が必要となる。とくに電子計算機の高性能化とともにプラズマの計算機シミュレーションが可能になりつつあり、この手法の開発が必要となっている。本論文はプラズマの粒子間の二体衝突効果が重要となるいくつかの問題の理論的研究ならびに計算機実験による研究をまとめたものであり、その主な成果を要約すると次の通りである。

(1) 磁気ミラーに保持されたプラズマのある部分でイオンまたは電子の旋回運動に共鳴する高周波電界を印加する場合、同旋回運動と磁気ミラー間の往復運動 (bounce motion) の2つの周期運動があるため、わずかな二体衝突があっても旋回運動の位相がランダム化し、比較的弱い高周波電界によっても加熱効果が得られる可能性のあることに着目し、二体衝突の周波数と旋回運動の位相のランダム化の度合との関係を導き、さらにこのような加熱効果が顕著となるためのプラズマ諸量の関係を明らかにした。

(2) プラズマ閉じ込めの一方式として環状四重極磁界にイオン・サイクロトロン周波数近傍の高周波電界を重畳する系において、高周波電界のプラズマ閉じ込めおよび加熱に対する効果を計算機実験によってしらべ、プラズマ損失の軽減作用が持続するためには加熱の進行と並行して高周波電界の強さを増加する必要があることを明らかにした。

(3) 上記の系において、高周波電界のプラズマ加熱およびプラズマ損失軽減の両作用を最適化する帰還制御を提案し、それによって高周波電界を加えない場合に較べエネルギー閉じ込め時間に約10%の改善が

得られる可能性のあることを示した。

(4) 粒子間の二体衝突効果が重要となる現象をしらべるのに有効な粒子コード・シミュレーションにモンテカルロ法を用いる二体衝突モデルを提案し、その計算手順の詳細を示した。一例として理論的に正確な解の知られている一様プラズマのイオン-電子間のエネルギー緩和にこのシミュレーション・コードを適用し、正しい結果を与えることを検証した。

さらにこのシミュレーションの手法は日本原子力研究所のダイバータ付トカマクのプラズマの外層の性質などをしらべるのに応用され大型装置の設計に重要な指針を与えている。

以上要するにこの論文はプラズマの粒子間の二体衝突が重要な役割をなすいくつかの現象を理論的数値的にしらべ多くの知見を得たものであり、それら現象解明の基礎となる新たな手法を開発し、核融合研究に多くの重要な指針を与えており、学術上實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。