

氏 名 福 山 淳
ふく やま あつし
 学位の種類 工 学 博 士
 学位記番号 論 工 博 第 1329 号
 学位授与の日付 昭 和 55 年 9 月 24 日
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
 学位論文題目 Theoretical investigations of nonlinear
 effects in lower hybrid wave heating
 (低域混成波加熱における非線形効果の理論的研究)

論文調査委員 (主 査)
 教 授 板 谷 良 平 教 授 飯 吉 厚 夫 教 授 木 村 磐 根

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は低域混成波を用いたトカマクプラズマの加熱に際して大電力を入射する場合に問題となる非線形現象の理論的研究をまとめたものであって6章より成っている。

第1章は序論であり、本研究の背景となるプラズマ加熱の現状と問題点を紹介し、本研究の目的と意義を述べている。

第2章は低域混成波を用いたプラズマ加熱に関する従来の線形理論を要約し、以後の解析に必要な概念の導入と説明を行っている。すなわち、低域混成波がプラズマの周辺から内部に達するための到達条件、モード変換についての関係式を示し、非線形効果導入の準備としている。

第3章は、プラズマに低域混成波を励起する場合、励起導波管系からみたプラズマの反射係数が入射高周波電力の関数として変化することを示している。すなわち、線形理論の範囲内では、プラズマの反射係数はアンテナアレイの位相角とプラズマ周辺の電子密度分布のみで済むのに対し、大電力となると波動電界のポンダラモーティブ力によって、プラズマ周辺部の電子密度分布が変り、これによって反射係数が変化すること、従ってこのような場合には位相角には殆んど依らないことを数値計算を行って導き出し、これによって国内外の実験結果を説明できるとしている。

第4章は、プラズマ中を伝搬する低域混成波がモード変換点に達したとき、そこで生起する非線形現象について検討している。先ず密度勾配をもつプラズマ内の低域混成波の非線形方程式を導き、モード変換点の近傍の線形解を基にして非線形解の形を想定してこれに代入し、振巾に関する最低次の方程式として、一次的に増加するポテンシャル中の非線形シュレーディンガー方程式を導き出し、いくつかの例についてこれを数値的に解き、波動の非線形伝搬の特性を明らかにしている。すなわち、波源が大きい場合には、振巾の大小による現象の違いはないが、波源が小さい場合には、大振巾ではモード変換点で孤立波が発生するのに対し、小振巾では温度による分散効果が効いて、波が拡散してしまうことを述べている。

第5章は単一周波数の低域混成波のエネルギーがイオンに伝達され、イオンが加熱される機構について

述べたものである。先ず静磁界と一つの静電波動が存在する中のイオンのハミルトニアンから出発し、正準変換を施してこれを正準変数すなわち作用と位相角で現わすことによって、共鳴による作用の変化量が評価できることを示し、この作用の変化の巾が重なり合うことによって単色波動中にも拘らずイオンはランダムな動きを示すようになることを明らかにしている。

第6章は結論であって、本研究の成果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

プラズマの波動加熱において、低域混成波はイオンサイクロトロン波並びに電子サイクロトロン波と共に有望なものと考えられているが、アンテナ系から放射された電磁波がプラズマ波となり、イオンを加熱するに至る過程は複雑で不明な点が多く、しかも大電力を用いた実験の結果は従来の線形理論の不完全さを如実に示しており、これらの理論的説明が急がれている。

本論文はプラズマを低域混成波によって加熱する際に問題となる非線形現象のうち、効率に大きく影響するアンテナ系とプラズマとの結合の問題およびモード変換点近傍における波動の伝搬特性、並びに加熱の基礎過程に関する単一波動中の運動の統計性に関する研究をまとめたものであって、主な成果は下記の通りである。

1. アンテナ系からみたプラズマの反射係数は、ポンダラモーティブ力を考慮すると、従来の線形理論によるものとは著しく異なる。すなわち、反射係数は入射電力密度とアンテナ系近傍のプラズマ密度分布にのみ存在し、アンテナ系の位相角には依存しない。この結果は反射係数は入射電力によって変化するが、大電力では位相角に依存しないという実験事実を適確に説明するものである。

2. モード変換点附近における波動の振舞は従来考えられていたものより複雑で、波の振巾のみならず、波源の大きさによっても現象が著しく異なることを明らかにしている。すなわち、大きい波源の場合には、モード変換点附近で定在波的振舞を示し、振巾の大小によって電界の浸透の深さが変わるだけであるのに対し、小さい波源の場合には、振巾の大小によって波束の振舞が変り、大振巾では孤立波が発生するが、小振巾では波束が拡散してしまうことを見出し、低域混成波伝搬で観測される波の線条化（フィラメンテーション）の生成判定条件を与えている。

3. 静磁界と単一の静電波動が存在する中の荷電粒子の運動に現れる統計的振舞に関する解析的手法を確立した。すなわち、正準変数として作用と位相角を選び、共鳴による作用の変化の巾の評価から統計的振舞を示す擾乱の閾値を求める。この手法は応用が広く、トーラス形プラズマ閉じ込め磁場の性能評価にも適用されている。

4. 上記の手法を用いて低域混成波によってイオンの磁界に垂直方向のエネルギーが増加することを示し、加熱が起るための閾値を得ている。この閾値は従来の理論によるものより遙かに低く、実験に顕著に現れる磁場に垂直な成分をもつ高エネルギーイオンの生成に明快な理論的根拠を与えている。

以上要するに本論文は、プラズマの低域混成波加熱に関する非線形現象を解析し、実験事実と理論的解釈を与えたばかりでなく、単純な力学系における共鳴を介しての運動の統計性を評価する手法を確立したもので、学術上実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。