

【 43 】

氏 名	北 川 米 喜 きた がわ よね よし
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 421 号
学位授与の日付	昭 和 52 年 1 月 24 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	理 学 研 究 科 物 理 学 第 一 専 攻
学位論文題目	準中性電子ビーム中のローワーハイブリッド2流体不安定性の研究

論文調査委員 (主 査) 教授 田中茂利 教授 巽 友正 教授 端 恒夫

論 文 内 容 の 要 旨

荷電粒子系の協力現象であるプラズマ波動は、プラズマ物理学にとって興味があるのみでなく、プラズマの加熱に関連して重要な課題である。ローワーハイブリッド共鳴波動は周波数が電子サイクロトロン周波数とイオンのそれとの中間にあって磁場と殆んど垂直に伝播する静電波動である。それ故イオンは磁場を感じずに電場で振動するが、電子は完全に磁化されてその案内中心が $E \times B$ ドリフトによって回転して周期運動を持続するという特異な波動であって、最近になって漸くその特性が実験的に解明されつつある。またローワーハイブリッド共鳴によるプラズマ加熱は、他の電子或いはイオンサイクロトロン共鳴加熱などにくらべて電子とイオンとを同時に加熱しうる可能性をもっていることが注目されている。加熱方法は高周波電力を直接に外部からプラズマに印加してローワーハイブリッド波を励起して行うものと、電子ビーム等によってローワーハイブリッド波不安定性を励起して行うものと大別して考えられる。

申請論文は後者に属するもので、磁場と垂直方向に不均一な密度分布をもつ電子ビームに附随する負性エネルギーの波であるドリフト波が、背景のイオン波と結合した結果としてローワーハイブリッド波が励起されることを示し、この不安定性の特性を検べ、更に非線形領域での波の振幅飽和とイオン加熱との関係を実験的に究明したものである。

実験の特徴はローワーハイブリッド不安定性の解析が容易であるようにヘリカル電子ビームを低圧のガス中に入射して準中性電子ビーム系、即ち電子ビームとそれを中和するに足るイオンのみが存在する2成分系を作り、これに磁場と平行な同軸型電極を挿入して外部から半径方向に電場を印加して、磁場に垂直な電流、いわゆるクロスフィールド電流を制御しうることを示し、それによってローワーハイブリッド不安定性の特性を明確にかつ詳細に検べた点にある。得られた結果の主要な点は次のように要約される。

- (1) 同軸型電極への印加電圧により、電子ビームに半径方向電場を加えることができこの電子ビームの $E \times B$ ドリフト速度を制御しうる。これによってローワーハイブリッド不安定性の励起と抑制とを人為的に任意に行うことが可能となった。

- (2) その結果、安定状態にあるプラズマにパルス的に電圧を重畳して、不安定性を瞬時に励起し、その時間的振舞を観測した。かくて不安定波動の成長率の直接測定、その振幅の増大と飽和とを観測した。
- (3) 周波数、成長率を電子ビームのドリフト速度、従って規格化した波数の関数として、実験的に求めた。この分散曲線は磁場と平行及び垂直な二つの速度成分を持つローワーハイブリッド不安定性の分散式と一致することを示した。ドリフト速度が平行成分のみの場合は Neuzil のドリフト 2 流体不安定性に、垂直成分のみの場合は Krall らのクロスフィールド電流不安定性の結果とも一致する。
- (4) 垂直方向の速度成分を変えると不安定波動の方位角方向の波数が  $m = 1$  から 2, 3 へとモード遷移が起る。これは各々のモードがビームのドリフト速度と同期したときにその振幅が最大になることによる。
- (5) この不安定波動の振幅の飽和は、波の成長率が大きくて短時間に著しく振幅が大きくなるために共鳴イオンがこの波によって捕捉されることによると説明される。さらにこのイオンが速度空間内で拡散する結果イオン加熱が生ずると結論された。

なお 8 編の参考論文のうち 1 編は主論文の予備的な報告であるが、他はドリフト波の励起に関するものが 3 編、その動的制御に関するものが 3 編、ローワーハイブリッド共鳴加熱に関するものが 1 編で、主論文の背景となるローワーハイブリッド波とドリフト波の両方に関連し、何れも興味ある結果を得ている。

#### 論文審査の結果の要旨

磁場中のプラズマにおけるローワーハイブリッド共鳴波不安定性及びそれによるプラズマの波動加熱はイオンと電子とが同程度に関与した協力現象として、プラズマ物理学において興味があるとともに、強電場印加によるプラズマの乱流加熱、トカマクプラズマの第 2 段加熱などに有用な役割を果すものと考えられ、最近の重要な研究課題の一つである。

ローワーハイブリッド 2 流体不安定性は不均一密度分布の電子ビームのもつドリフト波が背景のイオンの波と結合して不安定なローワーハイブリッド波を励起するものである。今までこの不安定性が磁場方向に流れる電子ビームによって励起されるという実験結果が報告されているが、加熱に関連してより重要なクロスフィールド電流励起によるローワーハイブリッド不安定性については、その特性の解明に磁場に垂直な方向の電流の制御が必要であるという実験上の困難さのために、信頼できる実験結果が得られていない。

申請者は準中性電子ビームという理論的に取り扱いやすい、簡単な 2 成分ビームプラズマ系を巧みに生成し、それに同軸型電極を挿入して容易に垂直方向の電流を制御できるように実験装置に工夫を加えた。これによって垂直方向電流の値とそのドリフト速度とを変化させうることができて、今まで困難であったローワーハイブリッド 2 流体不安定性の人工的励起に成功したものである。

かくてこの不安定性の解明に必要な垂直方向電流のパラメーターを正確に測定して、この不安定性の垂直方向及び平行方向の両電流成分に対するしきい値、周波数などの分散関係を測定して、これらがローワーハイブリッド不安定性の理論による数値解析の結果と一致することを示した。加えて平行方向電流によるドリフト 2 流体不安定性が垂直方向電流によるクロスフィールド電流不安定性に連続的に移行することを示し、両者がともにローワーハイブリッド 2 流体不安定性として統一的に取り扱いうるという重要な結

論を、実験と理論の両面から導いた。

この不安定性を垂直方向電圧で制御することができた結果、プラズマにパルス状の電圧を印加することによって、ローワーハイブリッド不安定性を瞬間的に励起し、この不安定波動の線形領域における時間的成長から、非線形領域における波の振幅の飽和に至るまでの変化を直接に測定したことは興味深く、有用なものである。この波の飽和した振幅の絶対値の測定結果とあいまってこの波動によるイオンの捕捉効果が、非線形過程を支配していることを示し、さらにイオン加熱のメカニズムを速度空間内におけるイオンの拡散によるとして説明した。

以上に述べたように主論文は磁場に対して垂直方向及び平行方向の2つの電流成分をもつ準中性電子ビームを巧みに生成して、その不安定性励起の条件、不安定波動の分散、時間的成長率などを実験的に測定し、これがローワーハイブリッド不安定性の理論によって説明しうることを示すと共に、この不安定性が充分発展した段階ではイオンの加熱が伴うことを見出し、ビームプラズマ系におけるプラズマ波動及び波動加熱の研究に関して幾つかの新しい知見を加えたもので、この分野の発展に寄与するところが少なくない。参考論文8編もまた申請者のこの分野における豊富な知識と優れた研究能力を有していることを示している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。