

氏 名	大 久 保 邦 三 おお く ぼ くに ぞう
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 315 号
学位授与の日付	昭 和 49 年 3 月 23 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	実験室プラズマにおけるホイスラー波の研究
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

プラズマのもっとも基本的な波動には縦波である電子プラズマ波、イオン音波と横波である電子ホイスラー波とがある。ホイスラー波は静磁場方向に伝播し、その電磁場ベクトルが電子のサイクロトロン旋回と同方向に回転する円偏波であり、プラズマ中の共鳴電子 ($\omega - k_{\parallel} v_{\parallel} = \Omega_e$) による無衝突減衰、いわゆるサイクロトロン減衰をうけることが理論的に示されている。併し、実験室プラズマでのホイスラー波、とくにサイクロトロン減衰の実験は種々の制約のため、余り解明されてはいない。

申請論文は実験室プラズマにおいてホイスラー波が存在しうる条件を求め、実際にこの波を励起、伝播させ、かつ、その空間的減衰を測定して、これがサイクロトロン減衰と電子イオン間のクーロン衝突減衰の両者の寄与によることを示したものである。これは申請者が実験室プラズマでのホイスラー波の実験を制約するいくつかの難点を取除くように、直径の大きい、密度の高い、かつ電子温度も低くない静かな定常プラズマを磁場内に生成しえたこと、そして波を干渉計の方法によって精密に測定しえたことによるものである。

実験は静磁場内で大電流の直流放電により生成した直径約 5 cm, 密度 $10^9 \sim 10^{12}$ 個/cm³, 電子温度 1~3 eV の静かなプラズマ柱を用いて行われた。このプラズマ内に探針型アンテナを通じて高周波を印加して波を励起し、その空間的な伝播波形を干渉計の方法で測定し、この波形から波の波数と減衰率とを求めた。これらを広範囲のプラズマパラメーター、即ち密度、磁場強度および周波数の関数として求め、波の分散と減衰特性を解析して、概要が次のような結果をえた。

(1) 低電子密度領域では励起された波は境界をもつプラズマ内に存在する静電波であり、高電子密度領域においてのみホイスラー波が励起されうる。この両者の遷移点に相当する電子密度とプラズマ直径および波の周波数との関係はプラズマがみたされた導波管内での波の伝播の理論でうまく説明された。

(2) 高電子密度領域で励起された波の分散曲線を密度と磁場をパラメーターとして測定した結果は熱いプラズマのホイスラー波の分散式と定量的によく一致した。更に偏波面の測定結果は磁場方向に伝播する右

手系の円偏波であることが確かめられた。

(3) ホイスラー波の減衰率にはサイクロトロン減衰と衝突減衰とが混在しており、実験データから両者を分離して解析するのは甚だ困難である。申請者は波数で規格化した減衰率、つまり波長当りの減衰量を求めれば両者の減衰を近似的に分離して記述することが可能であることを解析的に示し、かつ数値計算によってその妥当性を確かめた。

(4) 次にホイスラー波の減衰量の測定値を次のように整理した。減衰が凡て衝突に基因するような低い周波数での波長当りの減衰量から実効的な衝突頻度を求めた。この実験値を用いて熱いプラズマのホイスラー波の分散関係と減衰率とを計算し、実験値のそれとを比較する。かくて電子温度 1.2 eV のプラズマでは波は完全にクーロン衝突によって減衰するが、 2.4 eV のプラズマではサイクロトロン共鳴の近傍 ($\omega/\Omega_e \approx 0.75$) においては波の減衰にサイクロトロンと衝突の減衰がほぼ同じ割合で寄与していることが結論された。

(5) なお、ここでのホイスラー波の測定条件下では、この波に附随して生ずる粒子の自由流の項、ブランチカット項および高次モードの項は無視できるとの吟味がなされている。

参考論文 8 編のうち、1 編は主論文の予備的報告であるが、他はビームプラズマ系におけるベルンシュタイン波の不安定性とその非線型現象を観測したものが 3 編、高電力のラジオ波による静電波の励起とプラズマ加熱に関する論文が 1 編、密度揺動のあるプラズマにおける波の伝播の問題とくに波の結合散乱を取扱った論文が 3 編であって、何れも興味ある結果をえている。

論文審査の結果の要旨

プラズマ内を伝播する横波であるホイスラー波とサイクロトロン減衰は、縦波の電子プラズマ波と Landau 減衰とともにプラズマ物理学における基本的問題であるばかりでなく、核融合プラズマの加熱に関連しても解明すべき重要な問題の一つである。

ホイスラー波の理論的研究は非線形現象も含めて可成りの発展をみているが、それが実験的研究は縦波に比して苛酷な条件を実験室プラズマに課する結果、サイクロトロン減衰などの線形現象さえも実証されていない現状である。ホイスラー波は横波であるが故にそれを支えるプラズマは磁場と直角方向に相当な大きさの寸法をもち、かつ高密度であることが要求される。而もサイクロトロン減衰がクーロン衝突による減衰よりも大きいためには電子温度も高いことが必要である。さらに波の減衰の測定には静かなプラズマが要求される。これらの 4 つの条件のうち 1 つでも除外できれば、それをみたすプラズマの生成はそれ程困難なものではないが、ホイスラー波の実験は不満足なものとなる。実際これらの条件をみたさないアフタグロープラズマなどで行なわれた多くの実験ではホイスラー波の分散は求めえても、その減衰は衝突効果に基づくものであった。またミラー磁場内の比較的温度的の高いプラズマについて行った Lisitano ら、McVey らの実験では磁気ビーチ部でサイクロトロン減衰を測定したが、もともと WKB 近似がみたまれているとは云えず、その結果も定性的なものである。

申請者は今までの実験の不備な点を克服して比較的弱い一様な磁場内に大電流の直流放電による直径の大きい静かなアルゴンプラズマを生成し、前記の 4 つの条件を可成りの程度満足するプラズマを発生させ

るのに成功した。このプラズマ柱においてホイスラー波を励起、伝播させ、かつその空間的減衰率を干渉計の方法によって精密に測定して、これがサイクロトロンと衝突減衰との両者の寄与によることを明確に示す実験結果をえたものである。

主要な結論の一つはプラズマがみたされた導波管内での波の理論から得られるある境界値以上の密度をもつプラズマにおいてのみホイスラー波は励起しうることである。これは実験室プラズマでこの波の研究に必要なプラズマパラメータの条件を与えたもので有用な結論と云える。第2の点は測定されたホイスラー波の分散曲線は熱いプラズマでのホイスラー波の分散式から得られる結果とよく一致することを示したことである。第3の結論はホイスラー波の減衰に関するものである。これにはサイクロトロンと衝突減衰とが混在しており、而もその近似式がないために実験データから両者を分離して解析するのは難しい。今までの実験結果はこの点でも誤りをおかし Olson によって強く批判されている。申請者は1波長当りの減衰量を求めれば2つの効果による減衰を近似的に分離できることを示した。この方法によって実験データを吟味した結果、低電子温度のプラズマでは波は完全に衝突減衰をするが、比較的電子温度の高いプラズマではサイクロトロン共鳴近傍において波は衝突とサイクロトロン減衰の両者の効果によって減衰することを明らかにした。この結果は十分に評価できる結論をえたものと云える。

以上述べたように主論文はホイスラー波の励起とくにサイクロトロン減衰の観測に必要な条件をみたす実験室プラズマを巧みに生成して、その波の存在しうる条件、波の分散と減衰特性とを詳細に検討してこれが熱いプラズマで衝突項を含む理論と一致するという結論をえたもので、プラズマ波動の研究に関して幾つかの新しい知見を加え、この分野の発展に寄与する所が少なくない。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。