

氏 名	菅 谷 礼 爾
	すが や れい じ
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 265 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 47 年 11 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 第 一 専 攻
学 位 論 文 題 目	Parametric Excitation of Bernstein Waves in Inhomogeneous Magneto-Plasmas (不均一な磁化プラズマ中におけるベルンシュタイン波のパラメトリック励起) (主 査) 論文調査委員 教授 田中茂利 教授 巽 友正 教授 端 恒夫

論 文 内 容 の 要 旨

最近著しい進展を遂げつつあるプラズマにおける非線型現象は、プラズマ波と共鳴粒子との非線型相互作用並びに波と波との相互作用の2つに大別される。後者の場合、プラズマ波のエネルギーが増すにつれて他との波の間のエネルギーの授受が現象を支配するようになる。特に関与する3つの波の間にエネルギーと運動量とを保存しつつ相互作用する3つの波の共鳴過程、あるいはパラメトリック共鳴は、プラズマにおける非線型現象の研究の重要な課題である。この申請論文は Bernstein 波のパラメトリック共鳴の実験的研究に関するものである。

Bernstein 波はプラズマ内を静磁場と直角方向に伝播し、磁場と直角方向の電場成分をもつ、主として電子が関与する静電波である。Maxwell 分布をもつ無衝突プラズマにおいては、Bernstein 波は共鳴粒子をもたないので、Landau 減衰もサイクロトロン減衰もない。従って、非線型領域においても、波と粒子との相互作用を起さないという特徴をもっている。しかも、電子サイクロン高調波の各バンド内でその波数が零から無限大まで連続的に変る分散をもっており、そのモードの多様性によって異った3つのモード間でパラメトリック共鳴が起るような条件が容易に設定できる。

更に最近、プラズマにおける非一様性がパラメトリック共鳴に重要な効果をもつことが理論的に示された。例えば密度勾配の存在により、電子群の運動は自分自身との相互作用が可能になり、イオンの運動を無視しても、パラメトリック共鳴が可能になるのである。申請者は、静磁場中のプラズマに強い電磁波を印加することによって Bernstein 波のパラメトリック励起が可能であることを実験的に示し、その機構を詳細に調べ、密度勾配が本質的に効くパラメトリック励起を実験的に始めて検証したものである。

実験結果およびそれから導かれる結論を要約すればつぎの通りである。

(1) 印加電磁波の半分の周波数をもつ Bernstein 波が励起される。而も印加電磁波には明確なしきい値が存在し、それ以上の強度の電磁波によってのみパラメトリック励起が起る。更に強力な電磁波を印加した時には高次の非線型効果が起り、パラメトリックに励起された Bernstein 波は飽和し、抑制され、つ

いには完全に消える。(2) しきい値のプラズマパラメーターによる依存性を検討した結果、これは二重共鳴（上側ハイブリッド周波数と電子サイクロトロン第二高調波とが等しくなる点）の近くで最小値をとることが分った。(3) しきい値の密度勾配による変化を詳細に測定した結果、しきい値は密度勾配の特性長に比例することが示された。(4) 印加電磁波はプラズマ中において、波数の小さい電磁波として存在し、これが波数が大きく、その方向が反対の2つの Bernstein 波をパラメトリックに励起することが明らかにされた。(5) さらに、Bernstein 波は印加電磁波の $m/2$ 倍 ($m=1, 3, 5$) の周波数においてもパラメトリックに励起される。このことは、電磁流体近似のもとで密度勾配の効果を含めてパラメトリック不安定性を与えるマッシュー方程式を求めて説明された。(6) 中性ガス圧力の低いプラズマの実験では、励起された Bernstein 波がいくつかの鋭いピークに分かれ、それらは周波数保存の関係を満していることが確かめられた。しかし、波長の測定が困難のため波数のマッチングの関係については確かめるに至っていない。

上記の実験結果は、プラズマの密度勾配を介して印加電磁波が密度変調を起し、その結果、Bernstein 波がパラメトリックに励起される。而もそのしきい値は均一プラズマのそれに比して著しく小さくなることが示された天野らの Vlasov 方程式から導いた理論結果と一致することが確かめられた。これらの結果は、最近理論的に提唱されたパラメトリック励起における密度勾配の効果始めて実験的に明らかにしたのである。

参考論文5編は、ビーム・プラズマ系における Bernstein 波の不安定性、ならびに電子サイクロトロン高調波における負吸収現象に関する研究である。

論文審査の結果の要旨

乱れたプラズマの研究はプラズマ物理学にとって興味があるばかりでなく、プラズマの磁気容器による閉じ込め並びにプラズマ加熱の問題とも関連して重要な研究課題である。過去10年間に弱く乱れたプラズマの研究は著しい進展を見た。ここでは一方においてプラズマ波とその波に捕捉された粒子との非線型相互作用が、準線型理論、非線型理論として展開され、非線型ランダウ減衰、捕捉粒子不安定性などが理論的、実験的に見出された。他方において幾つかの有限振幅の電子及びイオン波など数多くのプラズマ波の間の非線型相互作用が研究されて来た。しかしプラズマの現象は複雑で、幾つかの非線型現象がからみ合い、目的とする非線型現象のみを検出することは容易ではない。申請者は波と粒子との非線型相互作用が影響せずに現われる3つの波の共鳴結合、或いはパラメトリック共鳴の現象を Bernstein 波を対象として実験し、幾つかの興味ある結果を得ている。特にパラメトリック共鳴に及ぼすプラズマの非一様性の効果を始めて実験的に検証したことは評価してもよいであろう。

電子 Bernstein 波はプラズマ内を静磁場と直角方向に伝播する静電波で共鳴粒子を持たないから、Landau 減衰もサイクロトロン減衰も起さず、非線型領域においても波と粒子との相互作用は起きないという特徴をもつ。一方この波は、そのモードの多様性により異ったモード間でパラメトリック共鳴が起る条件が容易に設定できる。従って波と波との非線型相互作用の研究には、この Bernstein 波を対象にする と非常に都合よく、かつ精密な実験が可能である。申請者の着眼点はここにある。

今までの Bernstein 波によるパラメトリック共鳴の実験は、外部からの電磁波を印加して均一なプラズ

マ内に Bernstein 波を励起し、これが2つの他の Bernstein 波に変換するという崩壊型の不安定性について研究されていたが、申請者は不均一プラズマ中の電磁波が2つの Bernstein 波に変換されるという別の機構によるパラメトリック共鳴現象が存在することを始めて実験的に示した。ここでのパラメトリック共鳴においては、プラズマの密度勾配の存在によってイオンの運動を考慮しなくても電子群の運動が自分自身との相互作用によってパラメトリック共鳴が起るのである。このことは最近、天野らによって理論的に提唱され、均一プラズマの場合に比べて不安定の起るしきい値が著しく低下することが示され、パラメトリック共鳴における不均一プラズマの密度勾配の重要性が指摘されていた。

申請者は、静磁場中の不均一プラズマに電磁波を印加することにより励起されたプラズマ波の諸特性を詳細に検べて、これが印加電磁波のパラメトリック共鳴によって励起された Bernstein 波であることを示した。即ち印加電磁波と励起された Bernstein 波との間には、一般に周波数保存の関係が満たされる。次数の高い場合のパラメトリック共鳴については、電磁流体近似のもとで密度勾配の効果を含めてパラメトリック不安定性を与えるマシュエ方程式を求めて、実験結果が説明されることを明らかにした。更に、このパラメトリック共鳴は印加電磁波の強度が、あるしきい値を越えた時に起るのであるが、この値のプラズマパラメターの依存性を詳細に検べて、この現象の機構を明らかにした。しきい値は二重共鳴の近くで最小の値となり、プラズマの密度勾配の特性長に比例することが示された。これの実験結果は、不均一プラズマの密度勾配を媒介として、印加電磁波が密度変調を起し、その結果、Bernstein 波がパラメトリックに励起されるという天野らの理論的結果と一致していることが示された。

以上述べたように、主論文はプラズマ波のパラメトリック不安定性、特にプラズマの非一様性が及ぼす効果に関して新たな幾つかの知見を加えたもので、この分野の発展に寄与する所が少なくない。参考論文5編もまた申請者のこの分野における豊富な知識とすぐ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。