

氏 名	田 中 孝 康 た なか たか やす
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 583 号
学位授与の日付	昭 和 52 年 11 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	Parametric Excitation Due to Zero and Finite Wavenumber Pumps (零および有限波数のパンプによるパラメトリック励起)
論文調査委員	(主査) 教 授 松 原 武 生 教 授 富 田 和 久 教 授 田 中 茂 利

論 文 内 容 の 要 旨

申請論文はプラズマ中の有限波数と零波数の二つの波の崩壊不安定性について一般論を展開し、その具体的応用として有限波数の波がラングミュア波（電子波）、零波数の波が電磁波である場合を詳しく解析したものである。

申請者がこのような問題を取りあげた背景は次のようである。核融合を目ざした一つの試みとして、固体水素にレーザー光を照射して高温プラズマを作ることが考えられている。その際プラズマ中にレーザー光によって何が引起されるかを知るとはプラズマ加熱の機構を知る実用的観点からも重要である。他方、プラズマ中に何らかの方法で波が立てば、ランダウ減衰や衝突減衰によって波は減衰し、同時にプラズマ粒子の温度が上昇する。従ってプラズマ中に不安定性によって波が励起される現象は重要な研究課題である。ところで1972年 Stenzel と Wong によって二つの波を同時に入れるとプラズマの不安定性がより容易に起こることが実験的に示された。そこで、Nishikawa 等は二つの零波数の高周波電場がある時の計算を行ない、不安定性がより容易に起こることを理論的に証明した。しかし密度勾配のあるプラズマ中では、レーザー光はその一部が直接ラングミュア波（電子波）に変換されることが判明したので、電子波と電磁波が同時に働く時の不安定性を調べるが必要になった。現在ではより効率のよい他の過程の方が重視されているが上記の二つの波の不安定性の研究は、純学問的興味から、基礎実験として実験室で計画されているので、その実験に先行して理論的計算を行なうことは有意義であると思われる。

このような不安定性を理論的に扱うには一般に崩壊の結果励起されると思われる波に対する誘電率のポールの性質を調べればよい。従ってプラズマ系の運動方程式から誘電率を計算しなければならないが、その時外場のエネルギーに関して一次の項だけでなく二次の項も取りあげる必要があつてかなり複雑な計算が必要となる。

零波数の電場の場合には、同種の荷電粒子には等しい加速度が与えられるから各粒子群についてそれ

ぞれの加速系座標軸を導入して、零波数電場を消去することができる。他種粒子からの影響は相対運動によるドブラーシフトとして扱える。これは Nishikawa 等が用いた一般的方法であったが今の場合波の一方は有限波数であるため、外場を全部消去することはできない。それでまず有限波数の外場のある時の各粒子群の運動方程式をそれぞれの座標系に注意し、有限波数の外場は与えられたものとして解くと内部揺動に関する一つの hierarchy 方程式が導かれる。次にドブラーシフトに注意しながら次々と iteration を行ない、数十個の項の中から大きい寄与をするものだけ拾いだして誘電率を近似的に求める方法をとっている。

こうして得られた結果は一般的にいろんな波に応用することができる。特に有限波数の波が電子波の場合を解析するとやはり波数零の波が1種だけある場合よりもしい値は低下し、成長率は増大することが示されている。

参考論文1はプラズマ中にイオン波がある時に電子波が励起される新しいメカニズム2種類を示したものである。

参考論文2は乱れた状態にあるプラズマ中で波の振幅がある程度大きくなると波は二つの分散波を持つようになり、その結果各波数の波に振幅振動が現われることを示したものである。

参考論文3はプラズマ中の非線型波動に関係した問題を解くのに“相互作用表示”を導入して新しい非線型方程式系に変える方法を提案したものである。

参考論文4は電子波が電子波とイオン波に崩壊する過程を調べたもので従来は一次元の問題として多く扱われていたが三次元的な場合でも扱える方法を示している。

参考論文5は最近接原子間にのみ相互作用のある一次元格子についていくつかの厳密な定常解のある場合を例示したものである。

論文審査の結果の要旨

Stenzel と Wong の実験によればプラズマに二種のポンプ外場（周波数 ω_o と ω_i ）を加え、 ω_i を変えていくと ω_i が電子プラズマ波の周波数 ω_e に近いとき著しいイオン波の励起が見られる。この実験に刺激されて Nishikawa 等は二つの零波数の外電場があるときプラズマの不安定性がより容易におこり、しい値は下り、不安定波の成長率が増すことを理論的計算によって示した。この時 Nishikawa 等によって用いられた方法は、プラズマ中の各種粒子群に対して、それぞれに働く加速度をもって働く座標系を導入して外場を消去し、異種粒子間の影響は相対運動に基づくドブラー・シフトによって考慮するものであった。

二種のポンプ外場の中一つは波数が有限である場合のプラズマの不安定性の問題は、実用的にも重要であり理論的にも興味があるが、有限波数のために前記の Nishikawa 等の方法はそのまま使えない。それ故に今まで理論的計算はなされたことがなかった。しかし実験室でこの種の基礎実験を試みることに計画されるようになったので、申請者は実験に先立って理論計算を実行し、実験結果を予想しようとしたのである。

申請論文は零波数の電場と有限波数の波が存在するとき、プラズマに発生しうる不安定性をプラズマ

の誘電関数を計算し、その極の位置と構造の分析から調べたものである。一様な外電場は Nishikawa 等の方法によって各粒子ごとに異なる加速座標系を導入して消去することができる。申請者のすぐれた創意は有限波数の波の影響を如何に扱うかという点に加えられている。有限波数の外場は与えられたものとして、その中でのプラズマ粒子の運動方程式を形式的に解くと、荷電粒子密度（のラプラス・フーリエ成分）と外場とを結びつける一般関係式を導くことができる。この関係式にはすべての非線型効果が含まれているが、線型近似を出発点とする iteration を用いて展開すれば、結局荷電粒子密度は外場と誘電率の複雑な関係として表現される。ここで申請者は物理的洞察を働かせて、複雑な数学的問題を解く鍵を見出している。高次の項はその中に含まれる中間過程における phase の mismatching によって値は小さくなり、また逆に低次の頃は中間過程がないために、異なる波の間の結合が起り難くてそのために値は小さくなることに注目すると、複雑な展開式の適当な有限項だけで各種の波の分散関係は近似的に計算できるはずである。こうして二種の外場に限った場合の多くの励起低周波波動の間の結合関係を記述する近似式を一般に求め、モード数を有限に限りて分散関係をきめる式を導き不安定になるモードが現われる条件を与えることに成功している。

結果の詳細な解析は外場が一様な電場と波数が k の電子プラズマ波である場合についてなされ、合計六種の可能な実験条件の場合に分けて起りうる現象を整理している。その結論は予想通り適当な条件をそろえれば有限波数の外場がつけ加わった場合の方が、不安定なイオン波が励起され易いということであるが申請者はその物理的な理由を考察することも忘れていない。

この理論的結果は今後進められる実験に対して貴重な指針を与えるものでこの点で申請者の寄与はまことに大きいと言わなければならない。

なお参考論文5点は何れも申請者がプラズマ物理学の分野で広い知識とすぐれた能力をもった研究者であ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。