

氏 名	中 村 定 男
	なか むら さだ お
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	論 理 博 第 616 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 5 月 23 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	Experimental Studies of Explosive Instability in an Ion Beam-Plasma System (イオンビーム・プラズマ系におけるエキスプロシブ不安定性の実験的研究)

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

荷電粒子流を含むプラズマ内の不安定波動は、その振巾が増大すると波動の反作用によってプラズマ粒子の零次の分布関数を変えてしまうような波動と粒子との非線形相互作用、或いは波動と波動とが結合して新しい波動を生ずるような非線形相互作用が現われる。これらの非線形波動はプラズマ物理学にとって大変興味があるのみならず、プラズマの輸送現象をも支配する故にプラズマの閉じ込め並びにプラズマの加熱などに関連して重要な問題であり、近年著しく発展している分野の一つである。

さて、波動と波動との非線形相互作用の結果、一つの波動の振巾が減少し、他の波動の振巾が指数関数的に増大するようなパラメトリック不安定の現象は理論的にも実験的にも詳しく調べられている。一方、関与する3個の波動のうち、1個が負エネルギーの波動、他の2つが正エネルギーの波動である場合には3つの波動の振巾が同時に増大し、その成長率は指数関数よりも大きくて有限時間内で無限大に達するエキスプロシブ不安定性という甚だ興味ある現象の存在が1964年 Ryutov らによって提唱された。併し乍ら、この不安定性を実験的に検出しようという試みは、これが実現に必要な条件を実験的に作るのが困難で、今までに成功していなかった。

申請者はイオンビームプラズマ系において、巧妙な実験法を用いてこのエキスプロシブ不安定性を検出するのに始めて成功したものである。

すなわち、電子温度がイオン温度に比べて十分に高く、イオン音波が励起され易い比較的大きなプラズマ中に負エネルギーの波を運ぶイオン程度の速さのイオンビームを注入し、これに外部よりポンプ波を印加した。この時ビーム・プラズマ系に3個の波が励起され、以下のような特徴があることが観測された。(1)ポンプ波によって励起された波はイオンラングミュア波、負エネルギーのビーム空間電荷波、及びイオン音波であって、それらの周波数の間にエネルギー保存則に相当する周波数の保存則が成立している。(2)テスト波による波数の測定から、これらの3つの波数の間には運動量保存則に相当する波数の保存則が成立している。(3)3個の波動は同時に時間的に成長する。その成長率から算出されるエキスプロジョン時間

は理論値とほぼ合致する。(4)ポンプ波の強度と励起されたイオン音波の強度との関係は理論のそれと相対的に一致した。そしてこの不安定が発生するためにはポンプ波の存在が不可欠で、その強度に下限の値のあることを示した。(5)周波数が非共鳴の場合に励起されるイオン音波の強度も対応する理論値に一致する。(6)実験では不安定波動の振巾は初期値の2倍程度にしか成長しないが、これはプラズマ粒子の速度分布関数の不安定波動による変化を考慮した理論的結果と定性的に一致するものであった。

以上のような実験結果と理論との比較から、この実験においてイオンビーム・プラズマ系中に励起された不安定波動はエクспロシブ不安定性に基づくものであることが結論された。

参考論文1は気体の放電開始電圧が縦磁場で減少すること、その5は右円偏波がサイクロトロン減衰するとこと、その6は相対論的電子群によるマイクロ波の増巾、その7はカスプ磁場中に注入されたプラズマ粒子の軌道、その8は気体の放電破壊に及ぼすイオンの影響とミラー磁場での捕捉効果を示したものである。

論文審査の結果の要旨

電子ビーム或いはイオンビームは一般に2つの空間電荷波を励起する。一方の正エネルギーの波動はその位相速度はビームの速度よりも速く、他の負エネルギーの波動はその逆である。後者の波動は背景のプラズマを支える正エネルギーの波動と結合して線形不安定波動を励起する。この波動の振巾は指数関数的に増大し、大きくなるとプラズマ粒子を捕捉するなどの非線形領域に達することは理論的にも実験的にもよく知られたことである。

一方ビームの負エネルギーの波動が背景のプラズマの2つの正エネルギーの波動と同時に共鳴的に結合する際には、3つの波動が同時に増大するエクспロシブ不安定性という興味ある現象が起りうることを Ryutov らは理論的に予言した。併し、ビーム・プラズマ系で周波数の保存則及び波数の保存則を同時に満たす1つの負エネルギーの波動と2つの正エネルギーの波動とを同時に励起する条件を実験室で実現することが大変困難であり、また実験ではビームの分布関数が波動との相互作用により、その零次の形から変るなどの高次の非線形現象が原因となって、エクспロシブ不安定性は早急に安定化される。それ故、不安定波動の振巾が指数関係のよりも早く、有限時間内に無限大になるという理想化された理論をそのままの形で実験室で検証することは出来ない。

申請者は理論的に予想されたこのエクспロシブ不安定性を、その発生の初期の時間において実験的に観測し、その特性を解明することに始めて成功したもので、その成果は高く評価されうるものである。

理論で提唱されたエクспロシブ不安定性を実験的に検出しようとする最初の試みは電子ビーム・プラズマ系について Hopman により1971年に行われた。しかし、その実験結果はエクспロシブ不安定の発生を示唆する予備的なもので、波数の保存則も確認できず、この不安定性の検証には不充分であると著者自身が述べている。その後1973年に Kerst らも電子ビーム・プラズマ系で実験を行ったが、有用な結果は得られず、この不安定性の実験が大変困難であることを示している。

申請者は電子ビームではなくて、イオン音波程度の速さのイオンビームを電子温度が高くてイオン音波が励起され易いプラズマ中に注入してエクプロシブ不安定が実現し易いビーム・プラズマ系を生成し

た。この系に外部からのポンプ波によってイオンラングミュア波，負エネルギーのビーム空間電荷及びイオン音波の3つの波動を同時に励起し，その間に周波数，波数の保存則が成立していることを確認した上で，この3つの波動が共に時間的に成長することを観測して，そのエクспロージョン時間を推定した。更に励起イオン音波の初期値依存性及びに非共鳴条件下での励起イオン音波の強度を調べ，Wilhelmsonらの理論値と比較し，これらの波動がエクспロシブ不安定性に基づくものであることを詳細に検証した。また，この不安定波動を励起するにはポンプ波の存在が不可欠であったが，これは波動に線形減衰を越えるだけの初期値を与える必要があるという理論的条件を検証したのみならず，ポンプ波によってイオン音波を通じてイオンの加熱を行えうる可能性も示している。

以上本論文に述べられた実験結果は理論的に提唱されていたエクспロシブ不安定性を，始めて実験的に検証したもので，プラズマの非線形波動の分野に新たな知見を加えた極めて興味ある業績であると言える。

参考論文8篇は主としてプラズマ波動及び放電に及ぼす荷電粒子の運動の影響を取扱ったもので，本論文と合わせて，申請者のこの方面の研究への寄与を証するに足るものといえる。

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。