

氏 名	百 田 弘 も も た ひろむ
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 100 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 41 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 原 子 核 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Stability of a Uniform Plasma Composed of Streams in the Absence of an External Field (外場のない場合における流れを持った一様プラズマの安定性)
論 文 調 査 委 員	(主 査) 教 授 林 忠 四 郎 教 授 小 林 稔 教 授 四 手 井 綱 彦

論 文 内 容 の 要 旨

一様なプラズマ内に方向の反対な二つの流れがある場合、流れの方向に進む電氣的な縦波は、その波長が十分大きいときは不安定であることが知られている。これを二流体不安定性という。宇宙空間のプラズマや実験室でつくられるプラズマは流れを伴う場合が多いので、このような不安定性はプラズマ物理学の重要な問題の一つとなっている。ところで、これまでの二流体不安定性の理論では、電氣的縦波に話が限られ、電磁氣的な横波の存在は無視されていた。

主論文は、流れを持った一様なプラズマについて、衝突がない場合の Boltzmann 方程式と、Maxwell 方程式とから、電磁氣的な縦波と横波が一般的に共存する場合の方程式を導き、これから任意の方向に伝播する波については縦波と横波が結合していることを見出すとともに、この波が成長するかどうかという不安定性の条件を明らかにしたものである。以下に述べるように、まず温度が零の簡単な場合をとり上げて、縦波と横波の結合波は必然的に不安定であることを示し、ついでプラズマ粒子に熱運動がある場合にはこれが安定化の方向に作用することを明らかにしている。

まず、温度が零の場合について、任意の波長をもって任意の方向に伝わる波の分散式を求め、これから流れの方向に電場の成分をもつような横波は必ず縦波と結合することを見出している。とくに、波の伝播方向が流れに平行な場合には、縦波と横波が独立に存在して、縦波は従来の理論のとおり波長が十分大きいか、または流れが十分遅い場合には不安定であるが、横波は常に安定である。他方、波の伝播方向が流れに垂直な場合には、一般的に縦波と横波は結合するが、この結合波は必ず不安定であることを見出している。この際、横波が不安定性の原因であって、これに結合する縦波はむしろ不安定性をおさえる方向に作用している。このような不安定な波の成長の機構は、流れはないが、非等方向的な温度を持ったプラズマの不安定性の機構と同一のものと考えられる。すなわち、プラズマ内に微小な動揺によって磁場が生じたとき、この磁場の作用によって流れは電流の束をつくるが、この電流はもとの磁場をさらに増大させるのである。

ついで、温度がある場合について、速度の分布関数を用いて分散式を導き、上述の不安定性に対する熱的安定化の効果、すなわち、プラズマ粒子の熱運動が電流の束を拡散させて不安定性をおさえる効果を調べている。波の伝播方向が流れに垂直な場合には、一般に縦波と横波が結合するが、不安定性は本質的には横波の存在に起因するという温度零の場合の結果に基づいて、とくに結合がない場合の横波について考察を進めている。この場合には、波の生長は非振動的であるので、分散式から比較的容易に安定性の必要十分条件が求められる。この条件は温度零の場合の不安定性の成長率と粒子の熱拡散の速さとの大小関係を表わしたもので、前者が流れの速さに比例するのに対して後者は波の波長に逆比例するので、流れが十分速いか、または波長が十分長い場合には波が不安定であることを示している。これに対して、伝播方向が流れに平行な縦波の不安定性が、良く知られているように、流れが十分遅い場合に現われることは注目に価する。

最後に、上述の横波の不安定性が観測できるような実験条件の具体的な例をあげている。粒子の数の密度が 10^{10}cm^{-3} であるプラズマ中に、4keV に加速された電子の流れがあり、その温度が 1eV、数密度が 10^8cm^{-3} であるような場合を考える。このとき、理論的な結果によれば、波長が 5.5cm より長い横波は不安定であり、波長が 22cm のとき、不安定性の成長は最も速く、その成長時間は $2.5 \times 10^{-8}\text{sec}$ の程度になる。

参考論文 1 は、非圧縮性の円柱状プラズマについて、ラセン状の磁力線がプラズマに凍結している場合の、局所的不安定性の条件と変形の成長速度を変分原理から求めたものである。参考論文 2 は、一様な外部磁場中のプラズマにおいて、磁場に垂直な方向に伝わる縦波が励起される機構を調べて、励起の必要条件を見出したものである。参考論文 3 は、主論文の方法を一様な外部磁場がある場合のプラズマの安定性の問題に適用して、電磁波の輻射を伴う不安定性の必要十分条件を求めるとともに、参考論文 2 で導いた縦波の励起の条件の適用限界を明らかにしたものである。

論文審査の結果の要旨

主論文は、電荷も電流もないような一様なプラズマ中に流れが存在する場合に、電磁気的な微小揺動の波が生長するかどうかという不安定性の条件を理論的に調べたものである。従来の理論では流れの方向に伝播する電気的な縦波だけが考えられていたのに対して、一般に縦波と横波が共存して任意の方向に伝播する場合の分散式を Boltzmann 方程式と Maxwell 方程式から導き、これから縦波と横波の結合の様子を明らかにするとともに、不安定性が流れの速さと温度ならびに波の波長にどう依存するかという条件を求めることに成功している。この際、温度が零の簡単な場合から出発して、不安定性の成長の機構の本質を明らかにした後に、温度がある場合へ考察を進めたことは着実な方法といえる。

まず、温度が零の場合について、流れに平行に伝わる波においては、横波と縦波が独立に存在することを示したことは、縦波の不安定に関する従来の理論を裏づけたものといえる。さらに、伝播方向が流れに垂直な波は、一般に縦波と横波が結合していて常に不安定であるが、この際横波が不安定の原因であって縦波はむしろ不安定性をおさえる作用をしていることを明らかにしている。

ついで、一般に温度がある場合について、流れに垂直な方向に伝わる横波の安定性の必要十分条件を見

出すことに成功している。これから、プラズマ粒子の熱運動は安定性をおさえる方向に働くので、温度零の場合の不安定性の成長時間に比べて熱拡散の時間が短いような波長を持った波は安定であるという重要な結論を得ている。最後に、この不安定性が現われるようなプラズマの具体的な例を示して、理論的な結論を実験室において確かめることが困難でないことを指摘している。

以上の主論文は、流れを持ったプラズマの電磁気的な不安定性の条件を明らかにしたものとして、プラズマ物理的および核融合の理論の発展に寄与するところが少なくない。なお、参考論文はいずれも、申請者がプラズマ物理学の広い分野にわたって豊富な知識とすぐれた研究能力を持っ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があるものと認める。