

氏名	三 間 圀 興 み ま くに おき
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 285 号
学位授与の日付	昭 和 48 年 5 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	Modification of Weak Turbulence Theory Due to Perturbed Orbit Effects (摂動を受けた軌道の効果による弱い乱流の理論の補正)
論文調査委員	(主 査) 教授 田中茂利 教授 巽 友正 教授 富田和久 教授 松原武生

論 文 内 容 の 要 旨

乱れた高温度の気体プラズマでは揺動電場のエネルギー密度、平均粒子間相互作用エネルギー密度は粒子の運動エネルギーの密度にくらべてかなり小さいので、プラズマ乱流は弱い乱れの理論として展開され、異常輸送現象、プラズマの乱流加熱など、多くの問題が取扱われている。

このようなプラズマ乱流理論には、従来大きく分けて2つの異なる取扱いがある。一つは Kadomtsev らのソビエト学派によって展開された弱い乱れの理論であり、ここでは揺動電場を摂動として扱い誘電関数に対する非線形補正項とそれに対応する非線形湧き出し項とが乱雑位相近似を用いて導かれている。ここに現われる非線形項は3つの相互作用と粒子を介した2つの波の相互作用、いわゆる非線形 Landau 減衰、との2つの素過程を記述している。他の一つは米国の Dupree らによる軌道補正理論である。ここでは揺動電場による粒子の軌道のゆがみの効果を取入れる、即ち波と粒子とが共鳴的に相互作用するときに粒子が散乱を受け粒子の軌道がゆがむ結果、Landau 減衰などの準線形過程における共鳴条件に有限の中の間現われることが考慮されている。

しかしながら、従来これら2つの理論の相互関係は明らかにされていない。最近イオン波乱流においてこの弱い乱れの理論に欠陥のあることが Tsytovich らにより指摘され、軌道補正効果を併せとり入れる必要性が明らかにされた。しかし彼らの理論は矛盾を含み、その解明は成功するに至っていない。

申請者はこの2つの理論を統一的に記述する一般化された弱い乱れの理論を作り上げると共にそれを電子プラズマ波乱流に適用し、非常に興味深い結果をえたものである。

主論文第一部では、Tsytovich らのイオン波乱流で生じた矛盾を解消するためにダイアグラム法を用いて非線形項の系統的分類を行った。まず永年項の選択的和をとることによって粒子の伝播関数のくり込みを行なうと共に、それ以外の非線形項を展開して弱い乱れの理論で表わされる素過程の項をも導いたものである。かくて軌道補正効果と弱い乱れの理論との関係を明らかにすると共に、軌道補正効果を伝播関数のくり込みとして含んだ一般化された弱い乱れの理論を作り上げたものである。而もここでは一様な外部

電場も取入れてあるので今日重要なプラズマ加熱の研究にも有効に使える定式化となっている。

主論文第2部は一般化された乱れの理論を使って電子プラズマ波乱流を取扱ったものである。ここではイオン波が背景にある場合、最も重要な非線形効果である電子プラズマ波の粒子による散乱即ち非線形 Landau 減衰に対する軌道補正効果を検べている。主な結論としては、この軌道補正によって粒子の共鳴条件に巾が生じ、そのための非線形 Landau 減衰率が増大することが示され、さらにこの減衰率の値のイオン波振巾依存性が求められ、比較的小さいイオン波エネルギーでも減衰率が大きくなることが得られている。更に興味深いことは共鳴粒子の軌道のゆがみによって、相互作用するプラズモンの数の保存則が満たされなくなる。言いかえれば、Manley-Rowe の関係が破れて従来の理論に比してプラズマ波のエネルギーが効果的に電子エネルギーに転換されることが示されたことである。かくて、申請者はイオン波などの位相速度の遅い波があれば非線形 Landau 減衰は大きくなって波のエネルギーが非常に有効に電子のエネルギーに移行されるという実験的見地からも興味深い結果を示した。

参考論文は4編あり、いずれも大振巾波による捕捉粒子不安定性を取扱ったものである。参考論文1, 2は単色大振巾電子プラズマ波に捕えられた電子による離散的側帯波不安定性を始めて導いた理論であり、参考論文3, 4はこの理論を大振巾イオン波の空間伝播の場合に適用して実験結果との比較を行ない、実験家と共同して発表した論文である。いずれも今日国際的にも高く評価されている論文である。

論文審査の結果の要旨

プラズマ乱流理論には、従来大別して2つの異なる流れがあった。1つはソビエト学派に代表される弱い乱れの理論で、揺動電場を摂動として展開し、誘電関数に対する2次の補正項とそれに対応する非線形湧き出し項とが乱雑位相近似を用いて導かれている。他の一つは米国の Dupree らによる軌道補正理論で、ここでは揺動電場による粒子の軌道補正で準線形過程における共鳴条件に有限の巾の現われることがとり入れられている。弱い乱れの理論で記述される素過程は非線形 Landau 減衰、3つの波の相互作用などが実験的にも検証されており、乱れたプラズマにおいてしばしば重要な非線形効果となることは疑う余地がない。一方粒子の軌道補正効果は、特に一次元モデルに対する計算機実験で揺動電場による粒子の捕捉、軌道補正が生じてその重要性が認識されている。

最近イオン波乱流の取扱いにおいて Tsytovich らは従来の弱い乱れの理論に軌道補正効果を併せとり入れる必要性を指摘した。実際に波の位相速度と同じ速度をもつ共鳴粒子に対しては電場のエネルギー密度が粒子の運動エネルギー密度より大きくなって、この領域にある粒子に関する限り電場による摂動展開の近似は満たされなくなり、弱い乱れの理論は破れることになる。しかし、Tsytovich らの理論では軌道補正効果として準線形過程にくりこまれるべき非線形項と弱い乱れの理論における素過程に記述すべき非線形項との分類が不完全であるため、これを例えば電子気体モデルに適用すると長波長極限でもプラズマ振動の分散関係に有限な補正が現われて厳密な理論とは矛盾する結果がえられてしまう。

主論文第一部はこの難点を解決するためにダイアグラム法を用いて非線形項の系統的分類を行ない、粒子の伝播関数にくりこまれる項とそれ以外の非線形項を展開して弱い乱れの理論で表わされる素過程の項とを分離してきちんと導いている。こうして軌道補正効果を伝播関数のくりこみとして含んだ一般化され

た弱い乱れの理論が、長波長極限の厳密な理論とも矛盾しない形で完成された。この業績はプラズマ非線形理論において特筆すべきものであり、今後のプラズマ乱流理論の発展に資するところは極めて大きいと思われる。この理論はまた一様な外部電場の存在も考慮に入れてあり、今日プラズマ加熱で重要な異常抵抗やパラメトリック効果を調べる上にも有効な定式化であるといえよう。

主論文第2部は、この定式化を電子プラズマ波乱流に適用し、波の粒子による散乱に対する軌道補正効果を調べている。従来の弱い乱れの理論によればプラズモン数の保存に対応する Manley-Rowe 関係のために、この波のエネルギーは殆んど粒子へは行かない。これに対して申請者は、もし電子プラズマ波の他に位相速度の遅い波（イオン波など）があれば、それによって非線形 Landau 減衰にたずさわる共鳴粒子の軌道が著しく補正され、その結果 Manley-Rowe 関係も破れて波のエネルギーの電子への効果的な移行が生ずることを示した。この効果は乱流加熱実験における加熱機構に関係があると思われると共に、触媒波的役割を果す低位相速度波をたくみに利用することによって、今後プラズマ加熱の有効な方法として利用される可能性がある。申請者の研究が単に矛盾のない定式化を行なうという理論的興味に止まらないうで、プラズマ加熱の新しい方法を提起していることは高く評価されるべき点である。

以上述べたように、主論文は軌道補正効果を伝播関数のくりこみとして含んだ一般化された弱い乱れの理論の定式化を行なうと共に、電子プラズマ波乱流に関していくつかの新しい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4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。