

論文の内容の要旨

論文題目 Non-Hermitian Properties of Shear-Flow Systems
(和訳 シヤー流をもつ系の非エルミート性)

氏名 Volponi Francesco
 ボルポーニ フランチェスコ

様々な物理系においてシヤーのある流れが重要な役割を担う。シヤー流れの影響によって物理系の時間発展は極めて複雑になる。例えば安定な系がシヤーによって不安定になったり、また逆に不安定な系が安定になったりする。その重要性にもかかわらず、シヤー流れの数学的に厳密な取り扱い是不充分である。それはシヤー流れに関する微分作用素は非エルミートとなり、直交固有関数によって展開することが一般にできないからである。いわゆるケルビンの方法によりシヤー流れに関する現象について大きな発達があった。ケルビンの方法は偏微分方程式に應用されている二つの基本的な方法、すなわち特性曲線方法とフーリエモード展開の組み合わせであるといえる。

本研究では、まずケルビンの方法によって得た解が一般的な解であることを証明した。次に、ケルビンの方法を用いてプラズマ及び流体のシヤー流れに関連した不安定性や過渡現象について理論解析を行った。具体的には、空間的に非一様なガリレイ変換のケルビンによる表現法を用いて、電流駆動型の不安定性（キンク不安定性）に対する、シヤー流れの安定化効果について検証した。ケルビンの方法は、時間的に変形するモードを用い

た直交分解であるといえる。各モードの運動は、それぞれ独立な常微分方程式によって記述される。キルクモードに対しては、($\hat{\psi}$: 磁束関数のモード、 T : 規格化された時間)

$$\frac{d^2}{dT^2}\hat{\psi} + \mu(T)\frac{d}{dT}\hat{\psi} + \Omega^2(T)\hat{\psi} = 0 \quad (1)$$

ここで $\mu(T)$ は摩擦係数、 Ω^2 は振動定数を表し、シヤール流れが0の場合 $\mu = 0$ となつて $\Omega^2 > 0$ のとき振動(アルフベン波)あるいは $\Omega^2 < 0$ のとき不安定性(キルクモード)が与えられる。シヤール流れがあると、 $T \rightarrow \infty$ で必ず $\mu > 0$ となり減衰が起こる。すなわち、速度のシヤールのミキシングの効果が、系の長時間の振舞いに打ち勝ち、非常に強い減衰を起こすことが示された。

シヤール流れの存在は、複雑な過渡現象を引き起こす。非線形システムと同様に非エルミート性は作用素の固有モードの連結を起こす。このような系の摂動解析においては、共鳴的な相互作用によって時間に関する代数的発散すなわち *secularity* の問題が発生する。本研究では、流体のケルビン-ヘルムホルツ不安定性(あるいは非中性プラズマのダイオコトロン不安定性)を記述する、レイリー(Rayleigh)方程式の摂動解析を行った。単純な摂動展開の1次の項は発散する。この発散は繰り込み群と Strained Parameters の二通りの方法によって繰り込むことができることを示した。上の二通りの方法により導かれた表現は同一である。しかし繰り込みされた展開が予想された不安定な振舞いと一致しない。この不一致は繰り込み方法によるものではなく、摂動解析の限界を示すものである。