MHD現象に対する運動論的計算手法

Tractable Approacch to kinetics of MHD waves

中村 匡 [1]
Tadas Nakamura[1]

[1] 福井県大
[1] FPU

http://www.mira.bio.fpu.ac.jp/tadas

磁化プラズマの運動論的線形解析についてはプラズマ物理の揺籃期に理論が確立し，プラズマ物理の中級以上の教科書にはだいたい計算結果が載っている。この計算は無摂動軌道に沿って摂動場を積分するという計算方法 (以下，簡単に「無摂動軌道積分」と呼ぶ) を使っているが，かなり「奮闘的」で，体力勝負根性一発の計算と言えよう。普段，大規模現象を相手に MHD 方程式でこと足れりの研究をしているとなかなか近寄り難いものである。ところが大規模現象でも，たとえば磁気音波モードなどはランダウ減衰の影響が無視できないことが知られており，運動論的効果を考えにいれなければならない。しかし，このような MHD 的波動を扱うのに，ラーマー運動をいちいち追って計算するという無摂動軌道積分を使うのは，牛刀をもって鶏を割く (スケールの大小を考えれば「手術メスで牛を割く」とでもいうべきか) の感は禁じ得ない。さらに大規模現象ではバックグラウンドの非均一性や時間変化が重要になることも多く，一様定常バックグラウンドの計算で力尽き果てるような計算方法だと，それより複雑な状況ではお手上げである。

数年前，Nakamura & Shinohara (2000) はこの無摂動軌道積分に代わる方法として，ブラソフ方程式の位相空間体積保存という性質を使って，線形摂動を計算する方法を案出した。この方法によると，無摂動軌道を正確に追って摂動場の影響を計算する必要はなく，たとえばドリフト近似のようなものを使って摂動場と粒子の相互作用が計算できる (もちろん，波動の時間・空間スケールがドリフト近似を許す場合だが)。Nakamura & Shinohara (2000) はこの手法の応用例として低域混合波動のドリフト不安定の線形解析を示したが，これはのちに Ueno(2001) によって詳細な解析がなされ，手法の有効性が確認されている。

本講演では，この手法を MHD 波動一般に使うための基本的レシピを紹介する。MHD 波動の磁力線に垂直方向のダイナミクスについて電場ドリフトと，その補正項である慣性ドリフトと圧力勾配ドリフトが計算できれば記述できるが，上述の技法によりドリフト近似のもとでこれを運動論的に計算することが可能である。講演ではこの計算の応用例として，磁気回転不安定性の運動論を紹介する。磁気回転不安定性は降着円盤などの回転天体への応用が注目され，近年その重要性が注目されているが，圧力非等方性を考慮にいれた運動論的考察が必要であるとの報告がある。しかし，従来の無摂動軌道積分の方法を使うと，重力，遠心力，コリオリ力などの複雑なバックグラウンド場の中での粒子軌道を追いながら摂動場を積分するのは，不可能とまでは言わないまでも非人間的な超絶技巧が必要と言わざるを得ない。本講演での方法をつかうと平凡な努力の範囲内の労力で磁気回転不安定性の運動論的計算が可能である。