03Cp07

捕捉電子モードと電子温度勾配乱流の相互作用と同位体効果
Instructions for Preparing Manuscripts for JSPF Annual Meeting

渡邉智彦[1)]，前山伸也[1)]，仲田資季[2)]
Tomo-Hiko WATANABE[1)], Shinya MAEYAMA[1)], and Motoki NAKATA[2)]

[1)]名大院・理，[2)]核融合研
[1)]Nagoya Univ., [2)]NIFS

磁場閉じ込め核融合プラズマの重水素放電においては、軽水素よりもよい閉じ込め特性を持つことが知られており、輸送の同位体効果として理論研究においても重要な課題となっている。近年、捕捉電子モード(TEM)が関わる電子熱輸送における同位体効果を説明するシナリオとして、電子-イオン衝突周波数依存性の差とゾーナルフロー生成による重水素プラズマでの輸送低減の可能性がジャイロ運動論的シミュレーションを用いた研究によって指摘され、LHD重水素実験との対応からも注目を集めている(Nakata et al., PRL, 2017)。

一方、近年の「京」などの大規模計算機を用いたシミュレーション研究により、TEMやイオン温度勾配乱流などのイオンジャイロ半径スケールの乱流揺動と電子ジャイロ半径スケールの乱流揺動との相互作用の可能性が指摘されており(Maeyama et al., PRL, 2015)、従来のスケール分離にもとづくアプローチの検証や、新たな閉じ込め特性を与える物理機構の解明も興味深い研究対象である。

本研究では、TEM乱流と電子温度勾配(ETG)乱流を同時に扱うマルチスケール・ジャイロ運動論的シミュレーションを実施し、両者の相互作用過程と、輸送の同位体効果に及ぼす影響に着目した。シミュレーションの設定は、Cyclone caseに準じた磁場配位を採用し、Nakata et al. (PRL 2017)で用いられたパラメータに比べ、より急峻な電子温度勾配を仮定した。このケースにおいても、電子-イオン衝突を介した質量依存性のため、TEM不安定性の成長率および混合長にもとづく輸送の見積もり共に、軽水素に比べ重水素プラズマで低下することが見込まれる。実際にTEM不安定性のみを扱うシミュレーションでは、Nakata et al.の結果と同様に、重水素プラズマにおいて電子熱輸送フラックスが軽水素の場合の約半分に低下することを確認した。

そこで、ETG不安定性が駆動する電子ジャイロ半径スケール程度の揺動を十分に解像できるように波数空間を拡張し、マルチスケール乱流のジャイロ運動論的シミュレーションを実施した。軽水素、重水素いずれの場合においても、初期にETG不安定性が急速に成長し、飽和にいたる。その後、TEMが成長を始め、電子熱輸送の主な駆動源となる。マルチスケール解析で見られたTEMの成長率は、線形成長率から顕著に低下することが新たに見出された。その効果は重水素プラズマにおいてより強く現れた。また、重水素プラズマでのTEM不安定性の非線形飽和状態では、単一のTEMとゾーナルフローが強く結合し、predator-prey型の非線形振動が観測された。これらは、ETGを含んだマルチスケール計算で特徴的に見出された現象であり、結果的に同位体効果にも影響を与える。講演では分布関数構造の変化も合わせて議論する。

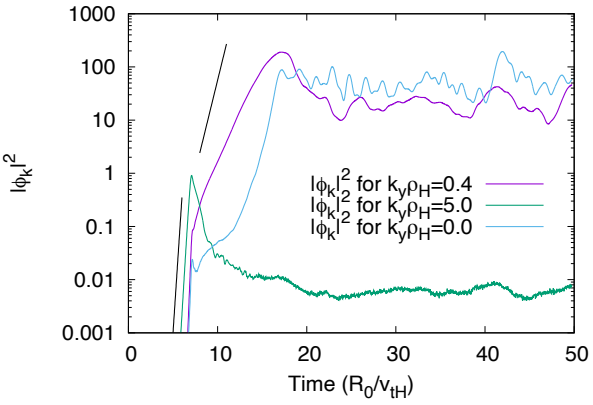

図1:軽水素(H)プラズマでのTEM/ETG乱流のジャイロ運動論的シミュレーションで見られたTEM成長率の低下（実線が線形成長率を示す）。