

多種イオンプラズマ中の低周波電磁揺動とプラズマ加熱

Low-frequency electromagnetic fluctuations and plasma heating in multi-ion-species plasmas

樋田 美栄子 [1]; 大澤 幸治 [1]

Mieko Toida[1]; Yukiharu Ohsawa[1]

[1] 名大・理・物理

[1] Department of Physics, Nagoya Univ.

核融合や宇宙のプラズマには多種類のイオンが含まれている。そして、その多種イオンの存在が、波の伝播やエネルギー輸送に重要な影響を与えることが明らかになってきた。例えば、非線形磁気音波のパルスは、無衝突プラズマ中を磁場に対して直角方向に伝播する場合にも減衰する [1]。減衰は、パルスから重イオンにエネルギーが移送することによって引き起こされる。また、直角伝播の静電イオンバーンスタイン波の各々は減衰しない。しかし、それらをまとめて1つのモードとみなすと、そのモードの自己相関関数は、非常に多くのイオン種が含まれるプラズマ中では、実質的には減衰する [2]。

本研究では、磁場を横切る低周波電磁揺動における多種イオンの効果を考察する。低域混成周波数より低い周波数領域には、3種類のモードが存在する。ここではそれらを、磁気音波モード、イオンサイクロトロンモード、重イオンのカットオフモードと呼ぶ。(重イオンのカットオフモードは、イオンイオン混成カットオフ周波数を持ち、その周波数は各々の重イオンサイクロトロン周波数より少し上に存在する。)熱平衡状態におけるこれらモードの磁場揺動のスペクトルを解析的に求め、また数値計算を行った [3]。1種類イオンプラズマでは磁気音波の振幅が圧倒的に大きい。このため、磁場揺動の自己相関関数は、振幅一定の余弦関数で与えられる。一方、多種イオンプラズマでは、重イオンのカットオフモードの振幅が、磁気音波モードの振幅に匹敵するほどになりうる。それ故、これら多数モードの位相混合により、自己相関関数は初期に減衰し、再帰時間は極めて長くなる。これは、重イオンのカットオフモードがエネルギー輸送において本質的な役割を果たしうること示唆している。

巨視的磁場擾乱の発展についても、理論と電磁粒子コードを用いて調べた [4]。初期条件として正弦波型のプロファイルの磁場擾乱を設定し解析を行った。まず、線形の運動論に基づいて、擾乱の振幅が熱的磁場擾乱の自己相関関数と同じ時間依存性を持つことを示した。そして、1種類イオンプラズマでは擾乱が減衰せず、そのエネルギーが磁場とイオン速度との間で振動することをシミュレーションで確かめた。一方、多種イオンプラズマでは擾乱は初期減衰する。さらに長時間シミュレーションによって、その初期減衰の後も磁場のエネルギーが減少し続けることを示した。これは、非線形モードカップリングによるものである。そして、これらの発展の結果、イオンのエネルギーが非可逆的に増大した。

本研究の結果は、磁気流体的擾乱からイオンへのエネルギー輸送が、多種イオンの存在によって大いに促進されることを示している。これらの過程は、例えば、太陽コロナのように、多くのイオン種が存在し、さらにそれぞれのイオン種が異なる電離度を持つようなプラズマ(従って、多くの重イオンカットオフモードが存在しうるプラズマ)において、有効になると期待される。

[1] D. Dogen, M. Toida, and Y. Ohsawa, Phys. Plasmas, Vol. 5, 1298 (1998)

[2] M. Toida, T. Suzuki, and Y. Ohsawa, Phys. Plasmas, Vol. 11, 3028 (2004).

[3] M. Toida, T. Yoshiya, and Y. Ohsawa, Phys. Plasmas, Vol. 12, 102306 (2005)

[4] M. Toida, T. Yoshiya, and Y. Ohsawa, Phys. Plasmas in press.