

微粒子プラズマの臨界点と国際宇宙ステーションにおける微粒子プラズマ実験

Critical point of fine particle plasmas and experiments on ISS

東辻 浩夫^{1*}, 高橋和生², H. M. Thomas³, G. E. Morfill³, V. I. Molotkov⁴, A. M. Lipaev⁴, 足立 聡⁵, 林 康明²

Hiroo Totsuji^{1*}, K. Takahashi², H. M. Thomas³, G. E. Morfill³, V. I. Molotkov⁴, A. M. Lipaev⁴, S. Adachi⁵, Y. Hayashi²

¹岡山大学, ²京都工繊大, ³MPE, Garching, Germany, ⁴JIHT RAS, Moscow, Russia, ⁵宇宙科学研究本部

¹Okayama Univ., ²Kyoto Inst. Tech., ³MPE, Garching, Germany, ⁴JIHT RAS, Moscow, Russia, ⁵ISAS

微粒子プラズマは微粒子とプラズマの混合物である。微粒子プラズマ実験の最大の特長は個々の微粒子の振る舞いが直接観測できることである。特に、微粒子の集団的現象の観測と微粒子の運動論的観測を同時に行えることは集団的現象の理解を深める上で大変興味深い。

微粒子プラズマでは、微粒子がミクロン程度の巨視的大きさをもつとき、微粒子は巨大な負の電荷をもち、微粒子系は強結合状態になる。微粒子系が強結合である微粒子プラズマ（強結合微粒子プラズマ）においては、臨界点が存在し、臨界現象を観測できる可能性が指摘されている。臨界現象を観測するためには、3次元の等方的な系を実現する必要があるが、地上の実験では微粒子に働く重力が大きいために難しい。この困難を解決する一つの方法は微小重力環境の利用である。国際宇宙ステーションにおいて行われているドイツとロシアの微粒子プラズマ実験[1]に、臨界点のパラメータ領域を目指したプログラムが生まれ、実験が行われている。

一般に一成分プラズマおよび湯川系を含む類似系には、結合度が増加するに伴って等温圧縮率が増加する傾向がある。さらに結合度を増加すると、やがて等温圧縮率は発散する。単純に考えれば、等温圧縮率の発散は熱力学的不安定性を意味し、均一な相としては存在できなくなり、相分離が起きる。また、相分離には一般に臨界点が存在する。しかし、一成分プラズマおよび類似系には、系全体としての電気的中性を保つための反対符号の電荷（背景電荷）が必ず存在しており、しかも、一成分プラズマおよび類似系の等温圧縮率の定義では、背景電荷は自由に変形するとされ、背景電荷の圧縮率への寄与は含まれていないから、一成分プラズマおよび類似系の等温圧縮率の発散は直接には熱力学的不安定性に対応しない。実際、ほとんどの場合には、具体的な背景電荷は非圧縮に近い:例えばイオン（原子核）系を一成分プラズマと考えたときには、イオンに対する背景電荷は、通常、縮退した電子系であり、電子系はイオンとは桁違いの大きな（正の）圧力をもち、圧縮率は小さい。したがって、一成分プラズマの等温圧縮率の発散は定義上のものであり、発散に伴う現象は実験では観測できないと考えられてきた。

一方、微粒子プラズマでは、背景電荷に当たるものは室温のイオンと(1-3)eV程度の電子からなる古典プラズマである。背景プラズマの数密度は微粒子に比べて(3-4)桁程度大きい、微粒子系の結合度が非常に大きくなり得ることを考慮すると、一成分プラズマおよび類似系の等温圧縮率の発散に伴う現象が微粒子プラズマにおいて観測できることが示され、臨界点のパラメータが求められた[2]。また、実験のパラメータとの対応も求められ、臨界点に近づくときに期待される現象の一つとして密度揺動スペクトルの振る舞いも求められた。国際宇宙ステーションの微粒子プラズマ実験では、装置の構造、微粒子の大きさ、装置のRF出力などが制約されているが、臨界点近くの現象、例えば、長波長の密度揺動の増大、などが観測できる可能性がある。

この講演では、微粒子プラズマの臨界点と臨界現象についての理論と実験の現状の概略を紹介する。

[1]例えば, H. M. Thomas et al., New J. Phys. 10, 033036(2008).

[2]例えば, H. Totsuji, Phys. of Plasmas, 15, 072111(2008).

キーワード:微粒子プラズマ,強結合プラズマ,臨界現象,国際宇宙ステーションでの実験

Keywords: fine particle plasma, strongly coupled plasma, critical phenomena, experiments on ISS