

帯電微粒子を用いた多成分強結合プラズマの実験とシミュレーション

Experiments and simulation on multi-component strongly coupled plasmas

三島 寛之 [1]; 庄司 多津男 [2]; 富田 英生 [3]; 上村 鉄雄 [4]
 # Hiroyuki Mishima[1]; Tatsuo Shoji[2]; Hideo Tomita[3]; Tetsuo Kamimura[4]

[1] 名城大理工; [2] 名大 . 工; [3] 名大. 工; [4] 名城大院理工

[1] Dept. Sci. and Tech., Meijyo Univ.; [2] Energy Eng. and Sci., Nagoya Univ.; [3] Dept. Quantm. Eng. Nagoya Univ.; [4] Dept. Sci. and Tech., Meijyo Univ.

重い惑星、白色矮星の中心や中性子星の外殻にはイオン種、価数の異なる強結合プラズマ (SCP) が存在すると考えられている。これらのプラズマの相構造を調べることは高密度星の核反応などを研究する上でも重要とされる。クーロン相互作用が遮蔽されない、絶縁油液中の荷電微粒子を用いた多成分 SCP の実験とこれに対するシミュレーションの結果について報告する。

微粒子を外部電圧で帯電させ、これを絶縁油の中で DC 電場によって閉じ込めることによってプラズマ中のダストのような電子による電場の遮蔽やプラズマ流のような影響のない単純化された多体相互作用する系を作った。図 1 に実験装置の概要を示す。絶縁性シリコンオイルを満たしたステンレス製容器と電導性膜をコーティングしたガラス板電極との間に数 kV の DC 電圧を印加し、容器の底に撒いたシリカ微粒子を帯電させた。粒径の異なるシリカ微粒子 (直径 3, 5, 10, 15 μm) で計測した微粒子の帯電量は粒径の 5/2 乗に比例している (粒径 5 μm の帯電量は電子の電荷量の約 3x10² 倍)。粒径の異なる 2 種類の微粒子を混合して帯電し、電極間電場で浮上させると、シリコンオイルの表面張力と容器電極によるポテンシャルによって閉じ込められ、油液表面に 2 次元強結合構造を形成する。その後、微粒子群は長距離相互作用によって結晶配向しながら中心付近に収縮していく様子が観測された。粒径 5 及び 10 μm の微粒子を用いた時は、図 2 に示すように 2 種類の微粒子が分離し、それぞれは規則的な構造を形成した。他方、粒径 10, 15 μm の微粒子を用いた時は、完全には分離せず混合した構造が部分的に見られた。

これらの混合構造についてはエネルギー原理に基づく静的な安定配位がこれまでに調べられて来たが、混合形成の動的経過によってこれらの配位が実現されるかは疑問であった。ここではこの混合配位形成の動的過程をシミュレーションによって詳しく調べた。粒径の大きい (電荷大) ものが中心に集まった方が系全体の静電エネルギーは低くなり、安定な配位になると考えられるため、図 3 (a) のように中心に小さな直径 5 μm、その外側に直径 10 μm の微粒子を初期分布させ、その後の時間発展を見た。図 3 (b) に示すように、時間とともに小径の微粒子が外側に流れ出て、大小の微粒子の配位が入れ替わり、分離構造を形成しようとする様子が観測された。しかしながら、小粒子群が大きな粒子に囲まれて長時間安定に留まる領域も見られ、実験との相違を検討している。

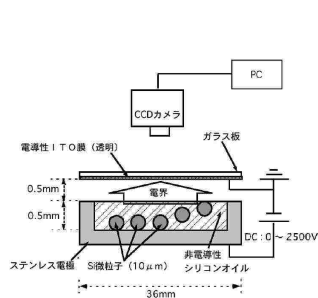


図 1 油液中の荷電粒子閉じ込め

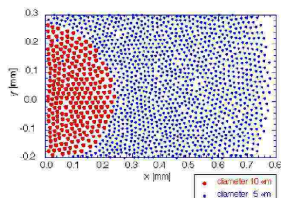
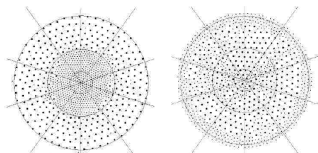


図 2 24 時間後の 5,10μm 直径の微粒子の分布



(a)初期分布 (b)時間経過後の分布

図 3 粒子シミュレーションによる 5,10μm 直径微粒子の混合分布