

ダスト間静電相互作用のN体シミュレーション

伊東 保崇 [1]; 天野 孝伸 [1]; 星野 真弘 [1]
[1] 東大・理

N-body investigation of electrostatic interactions between dust grains

Hotaka Itou[1]; Takanobu Amano[1]; Masahiro Hoshino[1]
[1] University of Tokyo

A dusty plasma is usually known as a plasma consisting of three components, electrons, ions, and charged dust grains and exists in space universally. Immersed in the plasma, dust grains are thought to acquire large amount of charges due to various charging processes. Such charged grains are electromagnetically coupled with the ambient plasma, giving rise to characteristic phenomena in dusty plasmas. We may be able to find dusty plasmas in several astrophysical environments, e.g., interstellar molecular clouds, protoplanetary disks, planetary rings, earth's magnetosphere, and tails of comets. In addition, in laboratories, the crystallization of dust grains, known as the Coulomb crystallization, has been fascinating many researchers. For astrophysical applications as well as industrial applications, the dusty plasma has been studied.

As mentioned above, dust grains acquire charges in plasmas. It is thought that dust grains are negatively charged when the collision between dust grains and plasma particles is the dominant charging process. This is because the electron flux into grains is usually larger than the ion flux. Therefore, it is easily expected that the repulsive shielded Coulomb forces act among negatively charged grains. However, forces acting on the grains may be much more perplexing because they are largely influenced by the ambient plasma. In reality, many types of forces have been suggested (e.g., Shukla and Eliasson, (2009)). The interaction among dust grains is quite significant because it may dominate aggregations and crystallizations in dusty plasmas.

We have investigated the electrostatic interaction between two dust grains by N-body first-principles simulation. The first-principles approach, where we solve equations of motion of all particles allows us to simulate the behavior of the dusty plasma with any assumptions. The main purpose of our investigation is to test the possibility of the attractive interaction due to overlapping Debye spheres proposed by Resendes et al., (1998). Our simulations have demonstrated that the interaction between two dust grains is repulsive and there may be no electrostatic attractive interaction. In this presentation, by comparing the simulation results and the orbital motion limited (OML) theory we discuss the validity of the OML model. In addition, simulation results and the electric field around a single isolated grain are compared to quantitatively investigate the applicability of the superposition principle.

ダストプラズマとは、通常電子やイオンに加え帯電したダスト粒子からなるプラズマとして知られており、宇宙に普遍的に存在している。プラズマ中でダスト粒子はさまざまな帯電過程によって大きな電荷を得ると考えられていて、そのようなダスト粒子は背景のプラズマと電磁氣的に結びつき、ダストプラズマの特徴的な現象を起こす。ダストプラズマは宇宙のさまざまな環境、例えば分子雲、原始惑星系円盤、惑星環、地球磁気圏、流星の尾などで発見することができる。加えて、実験室でも Coulomb 結晶と呼ばれるダスト粒子の結晶化が多くの研究者を魅了し、天文学的応用のためのみならず産業的な応用のためにも盛んに研究されている。

先に述べたように、ダスト粒子はプラズマ中で帯電する。通常ダスト粒子は、プラズマ粒子との衝突が支配的な帯電過程であるときは負に帯電すると考えられており、これはダストに流入する電子がイオンより多いためである。したがって、負に帯電したダスト間には遮蔽された Coulomb 斥力が働くと思われるが、背景のプラズマの影響を強く受けるのでダストに働く力はもっと複雑であろう。実際にダスト間引力を含む様々な力が提案されている（例えば Shukla and Eliasson, (2009)）。ダスト間相互作用はダストプラズマの集積や結晶化で大きな役割を果たす可能性があるため、非常に重要である。

我々は Ewald 法を用いた第一原理的な N 体計算によって、二つのダスト間の相互作用を調査した。すべての粒子の運動方程式を解く第一原理的なアプローチによって我々は仮定なしにダストプラズマの振る舞いを見ることが出来る。我々の主な目的は Resendes et al. (1998) によって提案された Debye 球の重なりによる引力を検証することであったが、我々のシミュレーションによるとダスト間の静電相互作用が斥力的であり、静電的な引力が存在しないがことを示した。今回は我々のシミュレーション結果を orbital motion limited (OML) 理論を用いた結果と比べ、その妥当性を議論する。さらに、ひとつのダスト粒子周りの電場と比較することによって重ね合わせの効果を定量的に調べる。