

直接計算によるダスト粒子間の引力の検証

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

First-principal validation of an attractive force between dust grains

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

It has been known that dust grains are quite ubiquitous in astrophysical environments, including interstellar molecular clouds, protoplanetary disks, planetary rings, and tails of comets. When the dust grains coexist with an ionized plasma, they may acquire substantial amount of charges. The plasma and the dusts are then coupled with each other, forming a dusty plasma or complex plasma and has been studied for astrophysical applications.

In a simplest situation where collisions between dust and plasma electrons and ions dominate a dust charging process, the sign becomes negative because generally the flux of electrons is larger than that of ions. One would thus expect that there exists a repulsive potential between dust grains. In reality, however, forces acting on dust grains may be much more complex due to interactions with plasma particles (e.g., Shukla and Eliasson, 2009), and interestingly, there may be attractive forces working between dust grains. Such attractive forces, if indeed effective, may play an important role in, e.g., formation of stars and planets.

One of the proposed attractive forces is that of due to overlapping Debye spheres, which is considered to be effective when the inter-grain distance is comparable to Debye length. Resendes et al. (1998) showed that the potential between grains is similar to that of the Lennard-Jones. However, experimental validation of the theory seems to be difficult due to the complexity of the system.

The aim of our study is to validate the existence of such an attractive force, by using direct N-body simulations. With the first-principle approach, we can simulate and investigate the behavior of a dusty plasma without any assumptions. By using a newly developed N-body simulation code for a homogeneous electron-ion plasma (implementing Ewald's sum algorithm), we have reproduced plasma oscillations and confirmed the Debye shielding. We extend the code to implement the PPPM (particle-particle particle-mesh) method allowing us to perform simulations with a much larger box and introduce dust grains. We will investigate possible existence of the attractive force due to the overlapping of Debye spheres using the direct simulations and discuss astrophysical relevance.

ダスト粒子は分子雲、原始惑星系、惑星の環、彗星の尾など宇宙空間のさまざまな場所に存在することが知られている。プラズマ中のダスト粒子はプラズマ中のダスト粒子は帯電することが知られており、このようなダスト粒子と結合したプラズマは、ダストプラズマまたは複合プラズマと呼ばれ、盛んに研究されている。

ダストプラズマでは、ダスト粒子はプラズマ粒子との衝突により帯電することが知られており、通常電子のフラックスのほうが大きいのでダスト粒子は負に帯電し、ダスト同士では斥力がはたらくように思われる。しかし、Shukla and Eliasson [2009]によれば、背景のプラズマとの相互作用によってクーロン斥力の他にさまざまな種類の力がダストに働きうちいくつかは引力である。それらの引力が現実の系でも有効であるならば惑星系の形成などで重要な役割を果たすかもしれない。

ダスト間に働く引力のうち、ひとつはDebye球の重なりによるものでダスト間の距離がDebye長よりやや遠いときに有効であるとされる。この引力はResendes et al. [1998]によって提案され、彼らはダスト間のポテンシャルはLennard-Jones型のポテンシャルになることを示したが、実際の系でも見られるかどうかは自明ではない。

我々の研究の目的はこの引力を直接計算で裏付けることである。直接計算ならば仮定をおくことなくダストプラズマの振る舞いを調べることができる。我々はすでにEwald和を用いた通常のプラズマのシミュレーションでプラズマ振動やDebye遮蔽が再現できることを確認している。本研究では更にPPPM法を用いてシミュレーションコードを拡張し、ダスト粒子も含めた系を扱う。本講演ではその計算結果に基づいてDebye球の重なりによる引力の可能性を議論したい。