

DC グロー放電中において帯電したマイクロ粒子に働く摩擦力の観測(II)

Measurement of friction force acting on charged microparticles

in DC glow discharges (II)

九州大基幹¹, 九州大院総理工² ○古屋 謙治^{1,2}

Kyushu Univ., ○Kenji Furuya

E-mail: furuya@artsci.kyushu-u.ac.jp

【序】我々はこれまでの研究において、DC グロー放電により負に帯電した μm サイズの微粒子群がプラズマ中でトラップされ 3 次元クーロン結晶やクーロン液体を形成することを示し [1]、このようなクーロン結晶形成に関する分子動力学計算を進めてきた [2]。我々が開発した装置では、トラップされた微粒子集団は電極やチェンバー壁面から数 cm 離れており、電極電位の調整により微粒子集団を上下に移動させることができる。そこで、電極電位をジャンプさせることで短時間にトラップ位置を下方に移動させ、微粒子が落下する運動を観測することで微粒子に働く摩擦力に関する情報を得ようと試みた。その結果、微粒子は落下により一定の終端速度に達することを確認できた [3]。原理的にはこの観測データを解析することで、摩擦係数と見かけの重力を分離して求めることが可能である。しかし、使用しているビデオカメラの時間分解能が高くなく、また、データのばらつきが大きいため、終端速度から摩擦係数と見かけの重力の比を定めるにとどまっていた。

今回我々は、電極の一方に直流電場と振動電場を重畳して印加し、微粒子を強制振動させることによって観測される振幅の振動数依存性から摩擦係数のみを定め、その結果と前述した落下の実験結果を併せて見かけの重力も定めることができたので報告する。

【実験】ステンレス製真空チェンバー内に流量 0.28 sccm で Ar ガスを流しながら排気バルブを調整し、圧力を 25 Pa (変動 ± 0.1 Pa 以内) に保った状態で、チェンバー内に設置した 2 枚の上下に平行な電極に電圧 ($V_1 = -140$ V, $V_2 = +220$ V) を印加しグロー放電を発生させた。放電時の電流は 3 mA 程度であった。直径 $0.52 \mu\text{m}$ の単分散シリカ微粒子を V_2 電極下方に設置した試料台にのせ、試料台を電極に近づけて下方からタップすること

で微粒子を上方に飛び出させ帯電させてチェンバー中央付近 (V_2 電極と試料台に挟まれた空間) に浮遊させた。連続発振 Nd:YAG レーザー光 (532 nm ; 100 mW) を垂直方向にシート状に広げて浮遊した微粒子集団に照射し、散乱光をチェンバー側面から 120 fps でビデオ撮影した。

【結果】強制振動の角振動数に対して微粒子の振幅を測定した結果とそのシミュレーションを Fig. 1 に示す。速度に比例する摩擦力を伴う強制振動を考えることで、実験結果を良く再現できた。シミュレーションにより、共鳴角振動数 71 rad s^{-1} 、摩擦係数 $2.8 \times 10^{-14} \text{ kg s}^{-1}$ を得た。さらに、微粒子の落下実験によって得られた終端速度 0.062 m s^{-1} を用いることにより、見かけの重力として 11 N m^{-1} を得た。大きさの異なる微粒子についても同様の実験を進めている。

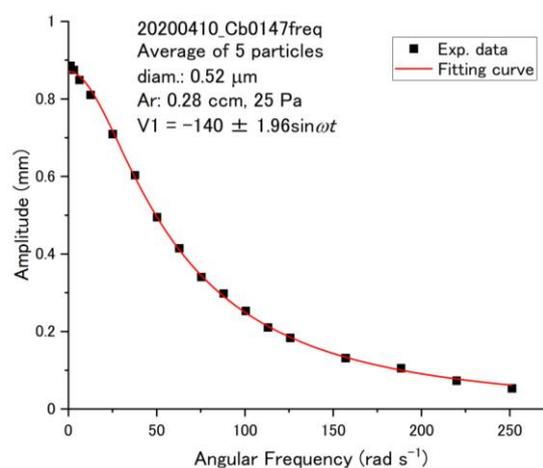


Fig. 1. Plots for amplitude vs. angular frequency in forced oscillation of micro particles.

【参考文献】

1. 古屋, 第 11 回分子科学討論会, 1P054 (2017).
2. 古屋, 第 12 回分子科学討論会, 1P085 (2018).
3. 古屋, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 12p-A302-13 (2020),