# 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

Measurement of friction force acting on charged microparticles in DC glow discharges

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]、また、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。そこで今回、電極電位をジャンプす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ることを試みた。

【実験】ステンレス製真空チェンバー内に流量 0.7 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 前後に保った状態で、チェンバー内に設置した 2 枚の上下に平行な電極に直流電圧（V1 = –140 V、V2 = +220～+250 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。単分散シリカ微粒子（宇部エクシモ（株）ハイプレシカ；直径 0.22±0.009, 0.52±0.011, 0.98±0.027, 1.90±0.026 μm）を V2 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（V2 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ビデオカメラで拡大撮影した。微粒子の落下運動を観測する際には、Ar ガスの導入を止め排気バルブを閉めておいた。V2 電極用電源は 10 V ステップ（立上がり時間 5 ms / 10 V）で電圧をジャンプすることが可能であり、120 fps でビデオ撮影を行った。

【結果と考察】グロー放電中における微粒子の帯電量は $10^3 e$ のオーダーであり、微粒子には重力に加えて静電力やイオンドラッグ力などが働く。これらはすべて鉛直軸に沿った方向であるから、これらの合力をみかけの重力とみなせる。速度に比例する抵抗力（比例定数$\kappa$）が微粒子に働く場合、これらの力がすべて微粒子が落下する領域内で一定であれば、微粒子の落下速度は次式で与えられ時間の経過とともに終端速度に近づく。

$$v(t) = C\exp\left(-\frac{\kappa}{m}t\right) + \frac{mg}{\kappa}$$

$C$:定数、$m$:微粒子の質量、
$g$:みかけの重力加速度

よって、質量既知の微粒子を落下させ、その位置の時間変化を細かく観測できれば、終端速度より $g/\kappa$が、速度－時間グラフのフィッティングより$\kappa$が求められる。Fig. 1 には直径 0.98 μm の微粒子を用いた場合の予備的な結果を示す。上式のフィッティングにより g = 9.8 N m$^{-1}$, $\kappa$ = 1.7×10$^{-13}$ kg s$^{-1}$ が得られた。本実験によりいずれの微粒子についても終端速度に達することを確認できた。

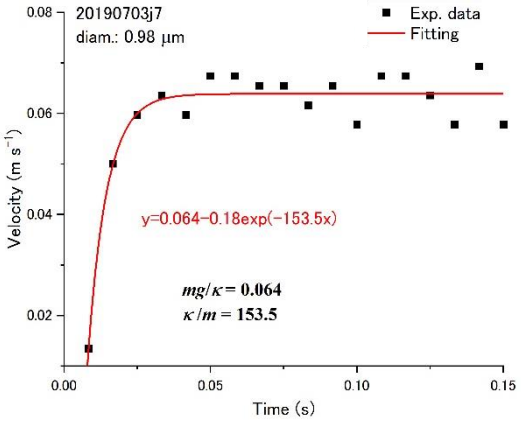


Fig. 1. Time dependence of the velocity of a 0.98-μm diameter particle falling in the positive column region of a DC Ar glow discharge at 25 Pa.

【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).