

Motion of charged fine particles in an AC-trap

宮崎修次, 秦浩起^AS.Miyazaki and H.Hata^A京都大学情報学研究科 (Kyoto Univ.), 鹿児島大学理工学研究科^A (Kagoshima Univ.^A)

ここで扱う AC トラップとは, 半径 $r_0 = 10\text{mm}$ の円輪状の導体を約数百～数千 V の交流電源に接続し, 振動電場を生じさせ, 帯電微粒子を閉じ込める装置である. 円輪状の導体の上下に平行平板電極をおき, 帯電微粒子の重力を相殺する定電場を印加する. 帯電微粒子として金メッキを施した半径 $30\mu\text{m}$, 質量 $m \approx 10^{-10}\text{kg}$ のシリカゲル製の球が用いられる.¹ AC トラップに複数の帯電微粒子を閉じ込めると, 様々な集団運動が見られる.² 研究の当面の主目的は実験を忠実に再現する数値解析用のシミュレーションモデルの構築と, 実験で観測された諸現象の再現である. xy 平面を円輪帯電体を含む水平面にとり, これと垂直に z 軸をとる. $x^2 + y^2 = r_0^2$ で与えられる円周上に線密度 λ で電荷が分布する帯電体を考える. 円輪帯電体により生じる電位 U は無次元化を施すと, K を第 1 種完全楕円積分として, $u(\rho, \zeta, \tau) = \frac{1}{\sqrt{(1+\rho)^2 + \zeta^2}} K \left(\sqrt{\frac{4\rho}{(1+\rho)^2 + \zeta^2}} \right) (A_{dc} + A_{ac} \cos \tau)$. ($\rho = r/r_0, \zeta = z/r_0, \tau = \Omega t, A_{dc} = \frac{q\lambda}{2\epsilon_0 m r_0^2 \Omega^2}, A_{ac} = R A_{dc}, u = \frac{\pi \epsilon_0}{\lambda} U$) のように与えられる. $q (\approx 9.6 \times 10^{-15}\text{C})$ は帯電微粒子の帯電量, $\lambda (\approx 10^{-10}\text{C/m})$ は円輪帯電体の直流成分の電荷の線密度, Ω (数 kHz) は交流成分の角振動数, R は直流に対する交流の振幅比である. 原点のまわりで展開すると, $u(\rho, \zeta) \approx 1 + \frac{1}{4}\rho^2 - \frac{1}{2}\zeta^2$ となる. 交流成分がない限り, r^2 の項の符号と z^2 の項の符号が逆で, 原点は安定な平衡点ではない. 帯電微粒子を閉じ込める機構は, 支点を高い振動数で揺るときに生じる単振り子の逆立ち状態と同じで,³ この安定化機構により, 具体的には, エネルギー散逸が小さく, かつ, $R > 1$, かつ, $\Omega \gg \sqrt{\frac{q\lambda}{4\epsilon_0 m r_0^2}}$ という条件を満たすと, 一つの帯電微粒子は原点に捉えられる. 最後の不等式の右辺は 1 程度の量なので, 角振動数が kHz 程度の交流電源を用いれば条件を充足する. また, 複数の帯電微粒子がある場合も, その重心の初期値が原点近傍にあれば, 重心も原点に捉えられる. 粒子数が数個程度の実験と数値解析の比較は既に報告した.⁴ 先行研究の実験結果によると, 多数粒子の場合の様々な集団運動も観測されている. 我々は 50 粒子程度までの数値解析を実行し, 上記の実験結果と比較を行う.

参考文献 ¹ Ishizaki et al., J. Phys. Soc. Jpn. **80** (2011) 044001. ² Ishizaki et al., Procedia IUTAM **5** (2012) pp.234-239. ³ 戸田, 渡辺, 非線形力学, 第 2 章, 共立出版 (1983). ⁴ 宮崎ら, 日本物理学会 秋の分科会, 13aPS-43 (2019).