

Quick Look Report of the Student PF Experiment

Title

微小重力下での光ピンセットによる懸垂液滴系の計測

Measurement of droplet diameter suspended by Optical Tweezers under the microgravity

Members

津江中谷研究室 μ g チーム

佐藤政史 瀧本理仁 引地悠太

Objective

光ピンセットを用いて微小な液滴を空間に非接触で固定することができる。微小重力下においては地上よりも大きな液滴が懸垂されると予想される。そこで実際に微小重力下で懸垂される水滴径を調べる。

Experimental instructions

光ピンセットとは光の運動量変化を用いて微小物体を捕捉する技術である。その原理を図1に示す。

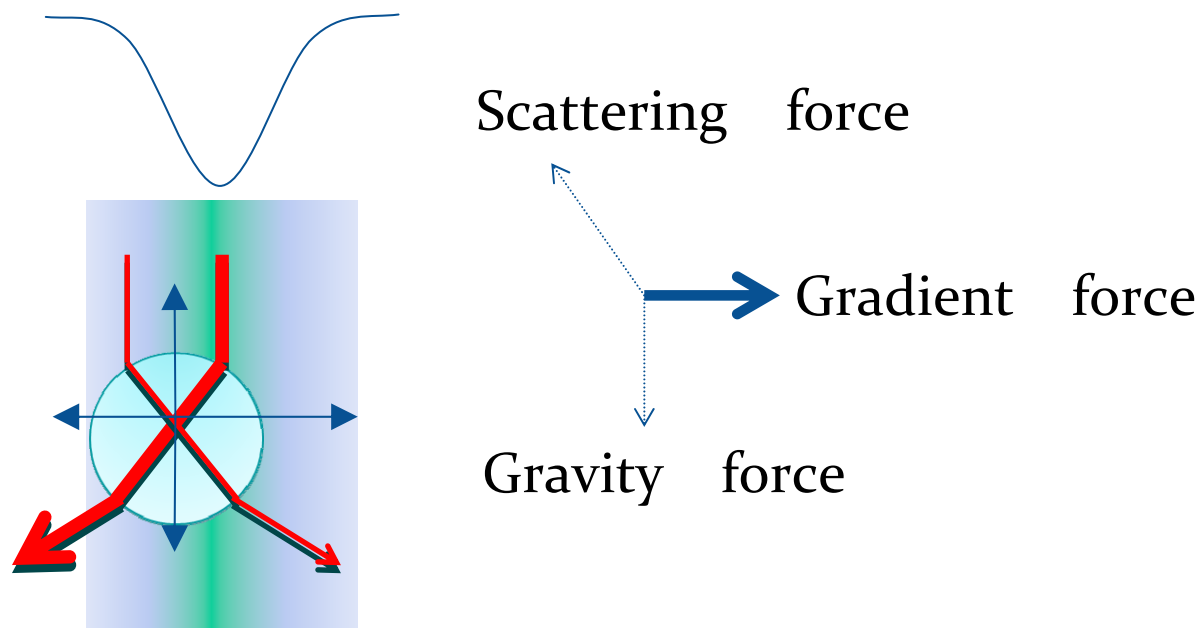


図1 光ピンセットの原理

光ピンセットによる力のつり合いは理想的にはレーザーによる捕捉力と重力のつり合いと考えられ

$$QnP/c = \pi\rho gd^3/6 \quad (1)$$

と記述される。ここで Q は軸方向の捕捉効率であり開口数などの光学系に依存する値である、 P はレーザーのパワー[W]、 c は光速、 n は溶媒の屈折率である。放物線飛行により上下 G が0~2の範囲で変化した場合に(1)式から計算される水滴の径の見積を図に示す。

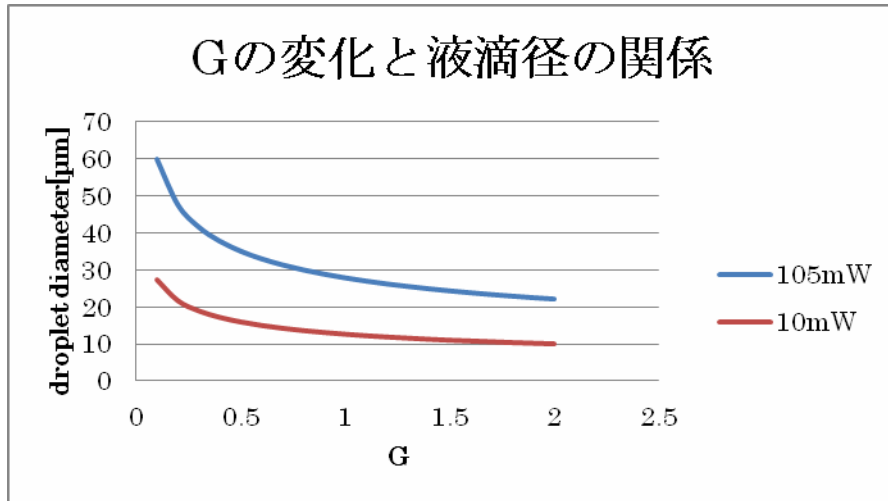


図2 予想されるGと液滴径の関係

図2のように微小重力下では地上よりも大きな液滴が懸垂できると予想される。

Method and Analysis

レーザー光を対物レンズによって集光、その焦点付近にネブライザーによって生成された噴霧を誘導し、液滴を懸垂する。懸垂された液滴をカメラレンズを通して高速度カメラにより観察する。本実験では過重力状態で噴霧を生成、誘導し、微小重力下で懸垂を確認、記録した。懸垂された液滴径の写真を図3に示す。

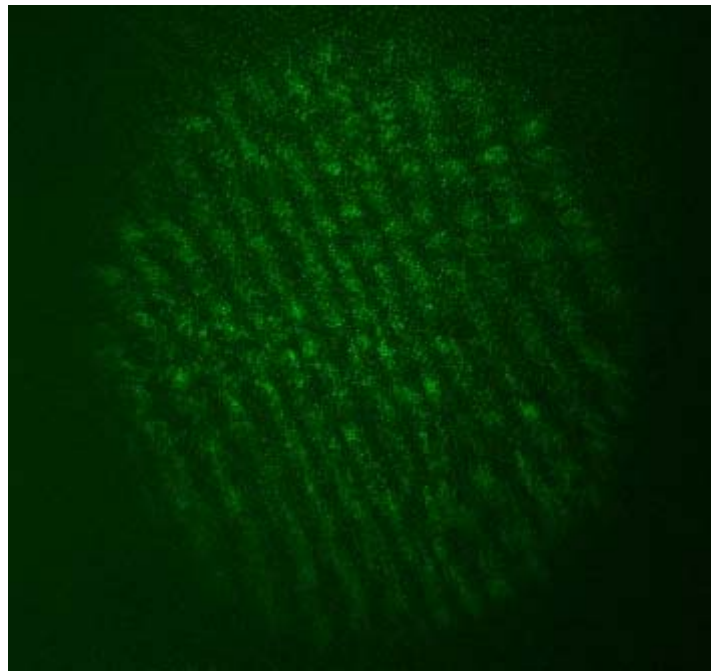


図3 懸垂液滴と干渉縞

図中には光の干渉による干渉縞が見て取れる。この干渉縞の本数を数えることで液滴径を算出する。この手法は干渉画像法と呼ばれている。

干渉画像法の式は

$$d = \frac{2 \lambda N}{\alpha} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\theta}{2} + \frac{m \sin(\theta/2)}{\sqrt{m^2 + 1 - 2m \cos(\theta/2)}}} \quad (2)$$

と記述される。ここで式中の各値はdが液滴の直径、 λ がレーザーの波長、N

が干渉縞本数, α が集光角, θ が散乱角, m が屈折率である. 本光学系では $\theta = 90^\circ$, α はカメラレンズの開口数から計算し約 0.18 である. 右辺の N 以外は実験系によって定まるため, 液滴径 d を算出することができる. 図の場合干渉縞本数を 14 とすればその液滴径は約 $50 \mu\text{m}$ と算出される.

Experiment Setup

本実験で使用した光学系を図 4 に示す. レーザー光を対物レンズにより集光, ネブライザーにより生成した噴霧を焦点付近に誘導し液滴を懸垂する. 懸垂された液滴はカメラレンズを通して高速度カメラにより撮影する.

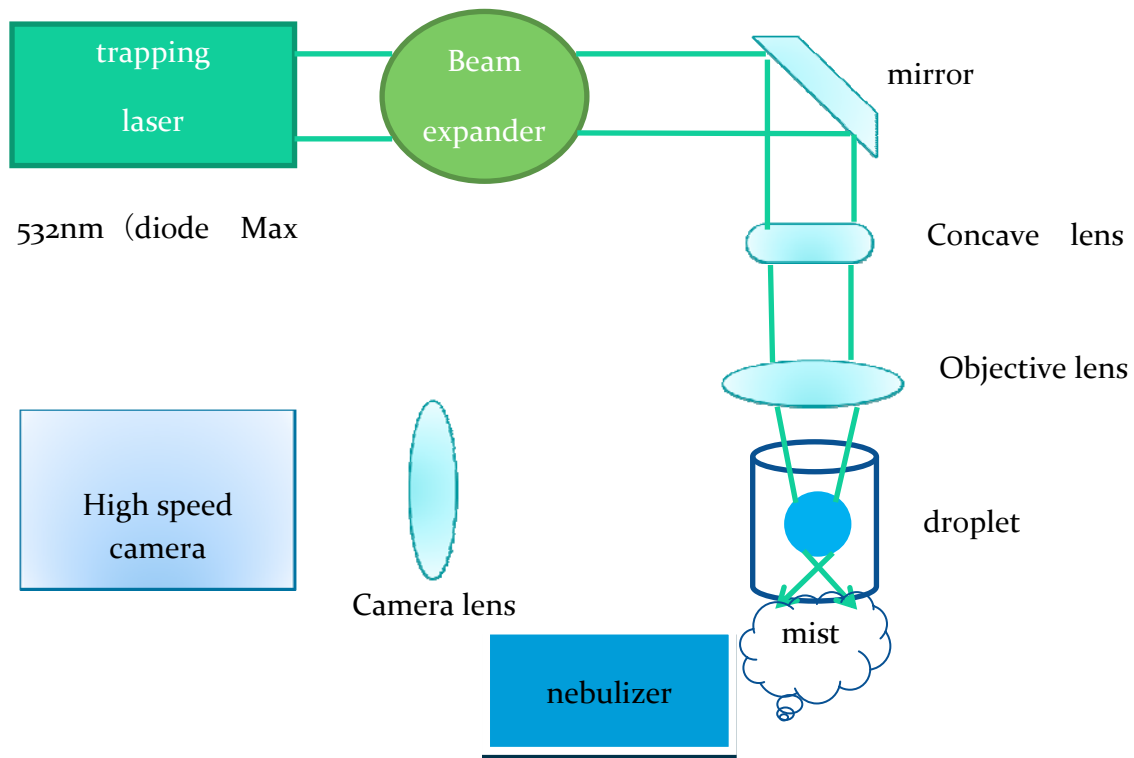


図 4 光学系

Result and Discussion

図 3 に見られるような懸垂液滴径の写真を数枚取得することができた. その液滴径の範囲は約 $30 \sim 50 \mu\text{m}$ であった. これは予想よりも小さかったがこの原因としてはネブライザーの平均粒径が $5 \mu\text{m}$ であり大きな液滴が生成できていない可能性が考えられる. 得られたデータ数は少ないが今後は G と液滴径の関連について整理してみたいと考えている. また, 地上での対照実験のデータ数も少ないのでこれも同時に取得していきたいと考えている.

Conclusion

微小重力下で光ピンセットによる液滴懸垂を確認することができた.

干渉画像法により懸垂液滴径を計測したところその範囲は約 $30 \sim 50 \mu\text{m}$ であった.

Acknowledgement

航空機による無重力実験という大変貴重な体験をする機会を与えて下さった、独立法人宇宙航空研究開発機構、財団法人日本宇宙フォーラム、株式会社ダイヤモンドエアサービス、その他航空機実験に携わった関係者の皆様方には深く感謝申し上げます。私の人生において一生忘れられない非常に良い経験、思い出となりました。ミーティング時やフライト中のダイヤモンドエアサービスの方々の精神面から技術面に至るまでの懇切丁寧なサポートのおかげで無事に実験をすることができました。厚くお礼申し上げます。