

ラゲール・ガウスビーム中における粒子の円運動の原理

Principle of Particle Circular Motion in a Laguerre-Gaussian Beam

宇大院工¹, 宇大 CORE², 千葉大院融合³, JST-CREST⁴, ○ 茨田 大輔^{1,2,4}, 川田 重夫^{1,2},
谷田貝 豊彦², 尾松 孝茂^{3,4}

Grad. Sch. Eng., Utsunomiya Univ.¹, CORE, Utsunomiya Univ.², Chiba Univ.³, JST-CREST⁴

Daisuke Barada^{1,2}, Shigeo Kawata^{1,2}, Toyohiko Yatagai², Takashige Omatsu^{3,4}

E-mail: barada@cc.utsunomiya-u.ac.jp

光渦をもつビームを照射すると、環境媒質よりも高い屈折率を有する粒子は、リングパターン上に捕捉され、光の軌道角運動量によってそのリングパターン上で円運動をすることが知られている [1]。また、その円運動の方向は、光の軌道角運動量の符号に依存する。しかし、円偏光の場合、スピン角運動量を有するにも関わらず、円運動の方向は偏光状態に依存しない。本研究では、偏光状態を考慮したラゲール・ガウスビーム中で粒子が円運動する原理を示し、上述の現象を説明する。

ビームウエストにおけるラゲール・ガウスビームの複素振幅は、

$$U(r, \varphi) = A \left(\frac{r}{w} \right)^{|l|} \exp \left(-\frac{r^2}{w^2} \right) \exp(i l \varphi), \quad (1)$$

と書ける。ここで、 A は振幅に関するパラメータ、 w はビーム径に関するパラメータ、 l はトポロジカルチャージである。ジョーンズベクトル (J_x, J_y) を用いると、電場と磁束密度はそれぞれ、

$$\mathbf{E}(r, \varphi, t) = \begin{bmatrix} J_x \\ J_y \end{bmatrix} U(r, \varphi) \exp(i \omega t) \quad (2)$$

$$\mathbf{B}(r, \varphi, t) = \frac{i}{\omega} \nabla \times \mathbf{E}(r, \varphi, t) \quad (3)$$

と書ける。この電磁場が粒子の分極電荷と分極電流に働く力を考える。ただし、粒子内で複素振幅は一定とする。光強度のピーク位置は $r = |l|w / \sqrt{2}$ となり、粒子は光勾配力によってこの位置に捕捉される。この位置における方位角方向に働く力を考えると、

$$F_\varphi(\varphi) = \frac{\varepsilon_0 |l| V}{2 \sqrt{2} l w} \left[1 + \sqrt{1 - s^2} \cos(2\varphi - 2\alpha) \right] \cdot |U|^2 \text{Im}(\chi) \quad (4)$$

と書ける。ここで、 α , ε_0 , χ , V はそれぞれ偏光方位角、真空の誘電率、電気感受率、粒子の体積である。また、 $s = 2 \text{Im}(J_x^* J_y)$ は右円偏光成分と左円偏光成分の強度差であり、スピン角運動量を示す。これより、円運動の方向はトポロジカルチャージの符号に依存することがわかる。

また、速度に比例する抵抗を考慮すると運動方程式は、

$$\frac{dv_\varphi(\varphi, t)}{dt} = \frac{F_\varphi(\varphi, t)}{m} - \frac{\Gamma v_\varphi(\varphi, t)}{m} \quad (5)$$

$$\frac{d\varphi(t)}{dt} = \frac{\sqrt{2}}{|l|w} v_\varphi(\varphi, t) \quad (6)$$

と書ける。ここで、 m , v_φ , Γ はそれぞれ、粒子の質量、方位角方向の速度、減衰係数である。ここで、 $w / \sqrt{2} = 5 \mu\text{m}$, $\varepsilon_0 V |U|^2 \text{Im}(\chi) / (2 \sqrt{2} w m) = 1 \text{m/s}^2$, $\Gamma / m = 100 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ としたときの、直線偏光 $s = 0$ と円偏光 $|s| = 1$ の場合の数値解は、Fig.1 のようになる。図をみると、定常状態において、 $s = 0$ の場合は速度が周期的に変動するが、平均値は、二つの場合においてほぼ等しくなった。以上により、リングパターン上に捕捉された粒子の円運動を説明できることがわかる。

[1] H. He *et al.*, Phys. Rev. Lett. **75**, 826 (1995).

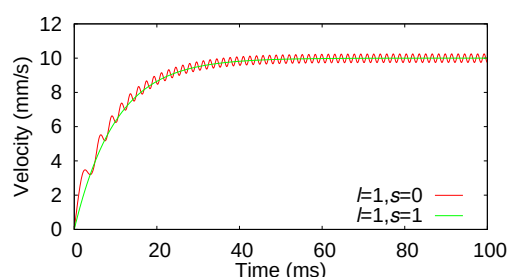


Fig. 1: Particle motion simulation. Red and Green curves show the results in the cases of $l = 1, s = 0$ and $l = 1, s = 1$, respectively.