

回転磁場におけるキラリティを持った粒子

(山形大学) 牧野 真人

【はじめに】

右手と左手のように、ある物体とその鏡像が任意の回転で重ね合わせることが出来ない場合、その物体はキラリティを持つと言う。キラリティを持った粒子はプロペラのように並進と回転がカップリングしており、回転運動をすることで並進運動することが出来る。この並進運動の方向は、その粒子が持っているキラリティに応じて、正負が決定する。すなわち、右手に分類される粒子が回転の軸の正方向に進むのであれば、左手に分類される粒子は回転軸の負の方向に進むことが期待される。我々は、この効果の例として、キラリティを持った粒子をせん断流に分散させ、せん断流の回転の方向すなわち渦度の方向に右と左に応じて、別々の方向に動くこと、キラリティ及び磁気ダイポールを持った粒子を回転磁場に分散させ、回転軸に対して別々の方向に動くことを報告してきた^{1,2}。ここでは、異方的な磁気帯磁率を持つ粒子を回転磁場に分散して、キラリティに応じて、どのように運動するかを報告する。

【結果と考察】

図1の二つの円盤からなるプロペラ状粒子を考える。二つの円盤のなす角 θ がキラリティを与える。帯磁率を持つ粒子は磁場 B を与えると定数を α として、 $-\alpha \mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\chi} \cdot \mathbf{B}/2$ のエネルギーを持つ。この粒子は、軸に垂直および平行な帯磁率の差 $\chi_a = \chi_{\parallel} - \chi_{\perp}$ が正の場合は磁場と粒子の軸は平行に配向、負の場合は磁場と粒子の軸は垂直な方向に配向する³。この配向する性質から周波数 ω の回転磁場を与えることで粒子を回転させることが出来る。

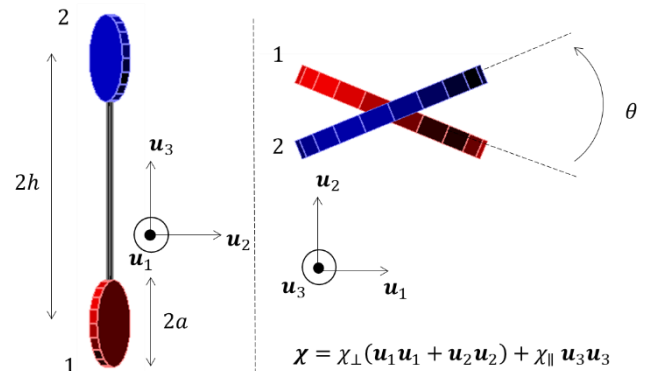


図1. プロペラ状粒子

回転に伴い、プロペラ状粒子は、キラリティに応じて回転軸に平行な正負の方向に進むことをブラウン運動が強く $h \gg a$ の場合、理論で示される。その移動速度は、 $\langle V \rangle = M(\omega)B^4$ と磁場の強さの4乗に比例し、

$$M(\omega) = \frac{1}{2949120} \frac{\alpha^2 \chi_a^2}{\eta^2 h^3} \sin 2\theta \left\{ -\frac{15}{2h^2} \frac{\omega \tau_1^2}{1 + (\omega \tau_1)^2} + \frac{1}{a^2} \frac{\omega \tau_2^2}{1 + (\omega \tau_2)^2} \right\}$$

となる。ここで、 η は粘度、 τ_1 と τ_2 は、粒子の軸に垂直な周り、粒子の軸の周りの回転緩和時間である。この $M(\omega)$ の式に、 $\sin 2\theta$ がプロペラ状粒子のキラリティに基づいて移動を与えている。二つの緩和時間で、磁場の周波数 ω によっても移動方向の正負が変化することが分かる。当日はシミュレーション結果についても議論する予定である。

【参考文献】

- (1) Masato Makino and Masao Doi, Physics of Fluids, 17, 103605(2005)
- (2) Masao Doi and Masato Makino, Physics of Fluids 28, 093302 (2016)
- (3) Tsunehisa Kimura, Polymer Journal, 35, 823 (2003)