

Manipulacja optyczna mikro- i nano- cząstkami w szczypcach optycznych

Paweł Karpinski^{1†},

¹Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

†email: pawel.karpinski@pwr.edu.pl

Szczepce optyczne zostały zapoczątkowane przez A. Ashkin'a w latach 70- i 80-tych^{1,2} i szybko zdobyły popularność w badaniach reologicznych i biologicznych.³ Pozwalają one na unieruchomienie mikro- i nano-cząstek przy użyciu silnie skupionej wiązki światła lasera. Siły działające na taką cząstkę są rzędu piconewtonów i pozwalają mierzyć siły tego samego rzędu z dużą dokładnością. Cząsteczka złapana szczypcami optycznymi nie jest jednak zupełnie nieruchoma, wykonuje ona ciągłe ruchy Browna ograniczone potencjałem pułapki optycznej. Jeśli dodatkowo zastosujemy wiązkę o odpowiedniej polaryzacji lub wiązkę wektorową to możemy wzbudzić dodatkowy ruch takiej cząsteczki wewnątrz pułapki. Stosując światła kołowo spolaryzowane, które ma spinowy moment pędu możemy uzyskać kręcenie się cząstki wokół własnej osi – rotację. Przy zastosowaniu wiązki wektorowej posiadającej orbitalny moment pędu, możemy obserwować krążenie cząstki po orbicie wiązki – rewolucję. Przekaz momentu pędu odbywa się przez absorpcję i rozplaszczanie światła i może być bardzo efektywny.

Tutaj pokażemy, że dla niewielkich cząstek silnie oddziałujących ze światłem np. rezonansowych nanocząstek złota i krzemu⁴⁻⁶ częstość rotacji może sięgać kilku kHz, a rewolucji kilkuset Hz w wodzie. To czyni takie cząstki najszybciej kręcącymi się obiektami w wodzie wytworzonymi przez człowieka.

Silne oddziaływanie ze światłem niesie też swoje konsekwencje w postaci znaczącej absorpcji światła i grzania się takich obiektów. Wzrost temperatury zmienia ich ruchy Browna i lepkość cieczy je otaczającej, a ponieważ to te cząsteczki są źródłem ciepła układ ten jest stanie termodynamicznie nierównowagowym. Ruch takich obiektów opisany jest teorią gorących ruchów Browna.^{7,8} Tutaj zaprezentujemy eksperymentalną weryfikację tej teorii.^{4,6} Pomiar temperatury w mikro- i nano-skali nie jest trywialnym. Pokażemy, że indukowany ruch (rotacje i rewolucje) można wykorzystać o pomiaru temperatury w otoczeniu pułapkowanej cząstki. Dodatkowo wykorzystując termometrię opartą na pomiarach spektroskopowych można zmierzyć temperaturę samej cząstki.

Na koniec pokażemy, że używając kryształów domieszkowanych jonami ziem rzadkich można nie tylko grzać pułapkowane cząstki, ale również je chłodzić wykorzystując anty-Stokesowską luminescencję.^{9,10} Takie połączenie możliwości indukowania szybkiego ruchu cząstek wewnątrz szczypiec optycznych i ich jednoczesnego grzania i/lub chłodzenia stanowi świetną platformę umożliwiającą bardzo rozbudowane pomiary mikroreologiczne w funkcji temperatury. Umożliwia również obserwację zjawisk takich jak termoforeza i termoosmoza wokół optycznie podgrzewanych i chłodzonych cząstek.

Podziękowania i źródła finansowania

Chcielibyśmy podziękować Narodowemu Centrum Nauki za wsparcie finansowe w ramach projektów SONATA 2019/35/D/ST3/02272 i OPUS LAP 2020/39/I/ST3/01827.

Literatura

1. Ashkin, A. Acceleration and Trapping of Particles by Radiation Pressure. *Phys Rev Lett* **24**, 156–159 (1970).
2. Ashkin, A., Dziedzic, J. M., Bjorkholm, J. E. & Chu, S. Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles. *Opt. Lett.* **11**, 288–290 (1986).
3. Maragò, O. M., Jones, P. H., Gucciard, P. G., Volpe, G. & Ferrari, A. C. Optical trapping and manipulation of nanostructures. *Nat Nanotechnol* **8**, 807–819 (2013).
4. Karpinski, P. Rotation and Revolution of Optically Trapped Gold Nanorods Induced by the Spin and Orbital Angular Momentum of a Laguerre–Gaussian Vortex Beam. *Adv Opt Mater* **10**, 2101592 (2022).
5. Karpinski, P., Jones, S., Andrén, D. & Käll, M. Counter-Propagating Optical Trapping of Resonant Nanoparticles Using a Uniaxial Crystal. *Laser Photon Rev* **12**, 1800139 (2018).
6. Karpinski, P., Jones, S., Šípová, H., Verre, R. & Käll, M. Optical Rotation and Thermometry of Laser Tweezed Silicon Nanorods. *Nano Lett* **20**, (2020).
7. Kroy, K. & Cichos, F. Hot brownian motion. in *Diffusive Spreading in Nature, Technology and Society* 127–145 (Springer International Publishing, 2017). doi:10.1007/978-3-319-67798-9_8.
8. Rings, D., Chakraborty, D. & Kroy, K. Rotational hot Brownian motion. *New J Phys* **14**, (2012).
9. Pringsheim, P. Zwei Bemerkungen über den Unterschied von Lumineszenz- und Temperaturstrahlung. *Zeitschrift für Physik* **57**, 739–746 (1929).
10. Sheik-Bahae, M. & Epstein, R. I. Laser cooling of solids. *Laser Photon Rev* **3**, 67–84 (2009).