

NANOPHYSIK

Das schnellste rotierende Objekt der Welt

Ein schwebendes Glaspartikel im Vakuum kann durch einen fokussierten Laserstrahl zu sehr schneller Rotation angetrieben werden. Unserer Forschungsgruppe an der ETH Zürich ist es auf diese Weise gelungen, ein Glaspartikel mit 100 nm Durchmesser öfter als eine Milliarde Mal pro Sekunde um die eigene Achse rotieren zu lassen [1]. Ein sich so schnell drehendes Partikel kann unter anderem für Materialtests auf der Nanoskala oder die Messung von quantenmechanischen Reibungskräften genutzt werden.

Auf Höchstleistung drehen sich die Rotorblätter der Turbine eines modernen Düsenflugzeugs bis zu mehrere Hundert mal pro Sekunde. Bei einer Rotorblattlänge von etwa 1 m bewegt sich der schnellste Punkt an der Spitze des Blatts mit einer Maximalgeschwindigkeit von ungefähr 1000 m/s. Triebe man die Rotorblätter zu noch höheren Drehfrequenzen an, würde das Metall der Rotorblätter reißen und die Turbine explodieren.

Kollegen an der ETH Zürich haben kürzlich eine Stahlkugel mit 0,5 mm Durchmesser bis auf mehr als 0,6 Millionen Umdrehungen pro Sekunde angetrieben [2]. Eine Forschungsgruppe aus den USA [3] und unser Team haben dieses Experiment weiter miniaturisiert.

Unser rotierendes Partikel besteht aus Glas und misst 100 nm im Durchmesser. Das Partikel wird von einem

fokussierten Laser durch die optische Dipolkraft am Schweben gehalten (Abbildung 1). Dieser Laser ist zirkular polarisiert. Das bedeutet, dass sich das elektrische Feld des Lasers mit einer Frequenz von fast 200 THz im Kreis dreht und dadurch das Partikel um die z-Achse zum Rotieren bringt (Abbildung 2).

Die Rotationsfrequenz des Partikels hängt direkt proportional von der treibenden Laserleistung und indirekt proportional vom Gasdruck in der Vakuumkammer ab. Bei einem Gasdruck von 10^{-8} atm (entsprechend 10^{-6} kPa) wird die Partikelrotation kaum noch durch Luftreibung gebremst und mit einer Laserleistung von etwas mehr als 200 mW schafft das Partikel hier mehr als eine Milliarde Umdrehungen pro Sekunde [1]. Kürzlich konnten wir noch höhere Rotationsfrequenzen messen, die auf

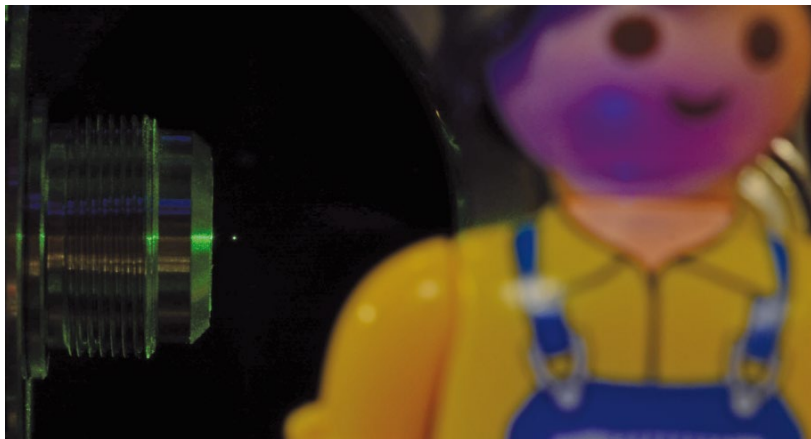
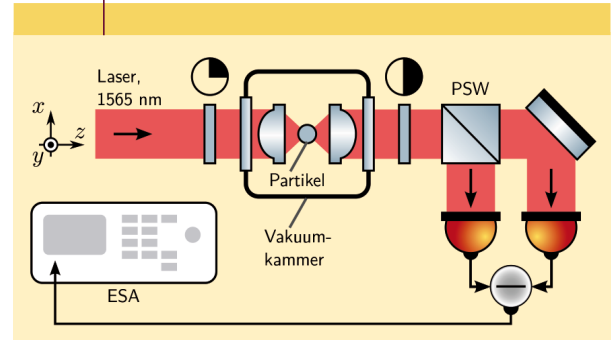


Abb. 1 Ein schwebendes Glaspartikel vor einer in Metall gefassten Linse. Das Partikel wird für das Foto mit einem grünen Laser beleuchtet. Die Playmobilfigur direkt vor der Vakuumkammer verdeutlicht die Größe des Aufbaus (Foto: R. Diehl, R. Reimann).

ABB. 2 | MESSAUFBAU



Ein Infrarotlaser wird durch ein $\lambda/4$ -Plättchen zirkular polarisiert und von einer Linse auf das Nanopartikel in der Vakuumkammer fokussiert. Eine zweite Linse kollimiert das Licht, das mit Hilfe eines $\lambda/2$ -Plättchens und eines polarisierenden Strahlteilerwürfels (PSW) zu gleichen Teilen auf zwei Photodetektoren verteilt wird. Aus dem Differenzsignal dieser beiden Photodetektoren lässt sich mit Hilfe eines elektronischen Spektrumanalysators (ESA) die Rotationsfrequenz des Partikels bestimmen.

eine Maximalgeschwindigkeit auf der Partikeloberfläche von etwas mehr als 1000 m/s schließen lassen.

Die extrem hohe Rotationsfrequenz des optisch gefangenen Partikels erlaubt Materialtests auf der Nanometerskala. Solch kleine Partikel lassen sich verhältnismäßig einfach defektfrei herstellen, ganz im Gegensatz zu makroskopischen Proben (wie das Rotorblatt oder die millimetergroße Stahlkugel), bei denen Kratzer und Risse zum Materialversagen führen. Unser Aufbau bietet so die Gelegenheit, die fundamentalen Belastungsgrenzen defektfreier Materialien zu testen. Außerdem könnte man mit einem so schnell rotierenden Partikel versuchen, quantenmechanische Rotationsreibungskräfte zu messen. Theoretisch erwartet man nämlich, dass selbst im perfekten Vakuum die Rotation des Partikels durch Quantenfluktuationen gebremst würde.

Literatur

- [1] R. Reimann et al., Phys. Rev. Lett. **2018**, 121, 033602.
- [2] M. Schuck et al., Sci. Adv. **2018**, 4, e1701519.
- [3] J. Ahn et al., Phys. Rev. Lett. **2018**, 121, 033603.

René Reimann, Martin Frimmer,
Lukas Novotny; ETH Zürich