
Abstract

Topic of this work is the exploration of the selfdiffusiophoretic motion of nanoscaled objects below the rotational limit. Selfdiffusiophoresis can lead to ballistic motion for small objects with anisotropic catalytic activity; however, thermal motion interferes strongly with this for objects below ~ 200 nm. As a new concept to overcome this, the application of a homogenous magnetic field, in order to suppress the rotational diffusion, is shown to be effective.

For this purpose, asymmetric cobalt ferrite/platinum hybrid nanoparticles are synthesized by a thermal decomposition process, leading to differently shaped hybrid materials, each based on a single platinum core with a different number of cubic cobalt ferrite particles attached to the core. The particle shapes compose dumbbells, tilted triplets, trigonal pyramids, tetrahedrons, and more, dependent on reaction temperature and surfactant composition.

Apart from catalytic activity and magnetic anisotropy, some nano object shapes bring along the symmetry break needed for propulsion.

A new fuel system for selfdiffusiophoresis is developed, based on the platinum catalyzed decomposition process of sodium borohydride and reduction of para-nitrophenol. The reaction proceeds according to a two-step consecutive reaction with external educts, during which gaseous reaction products can be avoided.

The selfdiffusiophoretic motion of the hybrid nanoparticles is investigated, using a novel chemical fuel system and external static magnetic fields of up to 70 mT. It is found that with increasing magnetic field strength, the motion of the hybrid nanoparticles increasingly shifts from diffusive to ballistic, showing particle motion sequences over time, which are alternately diffusive and ballistic.

The results obtained here represent a breakthrough in their field, since directed motion of objects of this order of magnitude (< 50 nm) in dispersion has not yet been achieved. Considered as basic research, they open up a multitude of further research projects.

Kurzzusammenfassung

Thema dieser Arbeit ist die Erforschung von selbstdiffusiophoretischer Bewegung von nanoskalierten Objekten unterhalb der Rotationsgrenze. Selbstdiffusiophorese kann für kleine Objekte mit anisotroper katalytischer Aktivität zu ballistischer Bewegung führen. Die zufällige thermische Bewegung stört diese jedoch stark für Objekte unterhalb von ~200 nm. Als neues Konzept zur Unterdrückung der rotatorischen Diffusion hat sich die Verwendung eines homogenen Magnetfeldes als effektiv erwiesen.

Für diesen Zweck werden asymmetrische Kobaltferrit/Platin-Hybrid-Nanopartikel durch ein thermisches Zersetzungsverfahren synthetisiert. Dies führt zu unterschiedlich geformten Hybrid-Materialien, welche jeweils auf einem einzelnen Platin-Kern mit einer unterschiedlichen Anzahl von kubischen Kobaltferrit-Bausteinen basieren, welche an den Kern gebunden sind. Unter den Partikelformen sind, abhängig von der Reaktionstemperatur und der Zusammensetzung der Oberflächenbeschichtung, u.a. Hanteln, gewinkelte Triplets, trigonale Pyramiden und Tetraeder. Neben der katalytischen Aktivität und magnetischer Anisotropie weisen einige Partikelformen den für den Antrieb benötigten Symmetriebruch auf. Im Rahmen der Arbeit wird hierzu außerdem ein neues Treibstoffsystem für die Selbstdiffusiophorese entwickelt, welches auf dem Platin-katalysierten Zersetzungsprozess von Natriumborhydrid und der Reduktion von para-Nitrophenol basiert. Die Reaktion verläuft nach einer zweistufigen Folgereaktion mit externen Edukten und hat den Vorteil, dass die Entstehung von gasförmigen Reaktionsprodukten vermieden wird.

Die selbstdiffusiophoretische Bewegung der Hybrid-Nanopartikel wird unter Verwendung des neuen chemischen Treibstoffsystems und externen statischen Magnetfeldern von bis zu 70 mT, untersucht. Es wird festgestellt, dass die Bewegung der Hybrid-Nanopartikel mit zunehmender Magnetfeldstärke zunehmend ballistischer wird. Partikelbewegungsspuren über die Zeit zeigen abwechselnd diffusives und ballistisches Verhalten.

Die hier erlangten Ergebnisse stellen einen Durchbruch auf ihrem Gebiet dar, da die gerichtete Bewegung von Objekten dieser Größenordnung (<50 nm) in Dispersion bisher nicht erreicht werden konnte. Betrachtet als Grundlagenforschung eröffnen sie eine Vielzahl von weiteren Forschungswegen.