idw - Informationsdienst Wissenschaft
Nachrichten, Termine, Experten

Pressemitteilung

Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation
Carolin Hoffrogge

23.04.2020
http://idw-online.de/de/news745191

Forschungsergebnisse, Wissenschaftliche Publikationen
Physik / Astronomie
überregional

Max Planck Institute for Dynamics and Self-Organization

Anziehung oder Abstoßung?

Wechselwirkungen zwischen chemisch aktiven Teilchen können so komplex sein wie menschliche Beziehungen

Forscher am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation zeigen, dass zwei mikroskopisch kleine chemisch aktive Teilchen, die sich nicht im Gleichgewicht befinden, wie z.B. Enzyme oder katalytisch aktive Kolloide, eine große Vielfalt komplexer Wechselwirkungen aufweisen können, die eher menschlichen Beziehungen als einfacher Anziehung und einfacher Abstoßung ähneln.

Chemisch aktive Partikel, wie Enzyme oder Kolloide, können sich in einer Flüssigkeit vorwärtsbewegen, indem sie chemische Energie in mechanische Arbeit umwandeln. Ein besonderes Merkmal dieser Teilchen ist, dass sie das dritte Newtonsche Gesetz verletzen können: Für ein System aus zwei Teilchen sind Kraft und Gegenkraft nicht unbedingt gleich groß und wirken nicht immer in entgegengesetzte Richtungen. Trotz dieser Besonderheit wurde jedoch die relative Wechselwirkung dieser Teilchen, wenn sie in ihrer einfachsten Form, d.h. isotrop und gleich groß, vorliegen, bisher für eindeutig gehalten: Entweder rein anziehend (in diesem Fall kommen die Teilchen zusammen und bilden einen Komplex) oder rein abstoßend (wobei sich die Teilchen unendlich weit voneinander entfernen), wie bei positiven und negativen Ladungen in der Elektrostatik. In ihrer neuen Arbeit, gerade in der Zeitschrift Physical Review Letters veröffentlicht, zeigen Babak Nasouri und Ramin Golestanian von der Abteilung „Physik lebender Materie“ am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation (MPIDS), dass die Wechselwirkung zwischen solchen Partikeln durch ihre chemische Signale und die Modifikation der sie umgebenden Flüssigkeit viel komplexer ist.

Nicht nur einfache Anziehung oder Abstoßung: es ist kompliziert!

Wenn es darum geht, das Verhalten dieser Teilchen zu untersuchen, erschwert oft die Komplexität der zugrundeliegenden Mechanismen gründliche theoretische Analysen und man muss auf Näherungen zurückgreifen. Ein in diesem Zusammenhang weit verbreitetes Näherungsverfahren, das bisher unser theoretisches Verständnis des Verhaltens dieses Systems geprägt hat, ist die so genannte "Fernfeldnäherung", die davon ausgeht, dass der Abstand zwischen den Teilchen immer erheblich größer ist als ihre Abmessungen. Die Fernfeldnäherung sagt voraus, dass die Wechselwirkung zwischen zwei solchen chemisch aktiven Teilchen nicht reziprok sein kann, was nicht-intuitiv ist, nichtsdestotrotz ist sie aber immer entweder rein anziehend oder abstoßend, wenn man sie relativ berechnet. "Die Nicht-Reziprozität von Wechselwirkungen ist ein ziemlich bemerkenswertes Merkmal, das uns auf der Ebene menschlicher Interaktionen vertraut ist – zum Beispiel, B mag vielleicht A, aber A mag B vielleicht nicht - allerdings ist es für mikroskopische Teilchen grundlegend neu und ist eine Manifestation ihrer Nichtgleichgewichtsaktivität", sagt Golestanian, Direktor der Abteilung Physik der lebenden Materie am MPIDS.

Obwohl die weit verbreitete Fernfeldnäherungslösung die zugrundeliegenden Gleichungen erheblich vereinfacht, kann sie in vielen Fällen zu falschen Vorhersagen für das Verhalten des Systems führen. Nach Nasouri und Golestanian kann die Beziehung zwischen zwei chemisch aktiven Teilchen nicht immer als rein anziehend oder abstoßend kategorisiert werden. Beispielsweise können sich die Partikel als stabiler gebundener Zustand zusammen bewegen, wobei ein

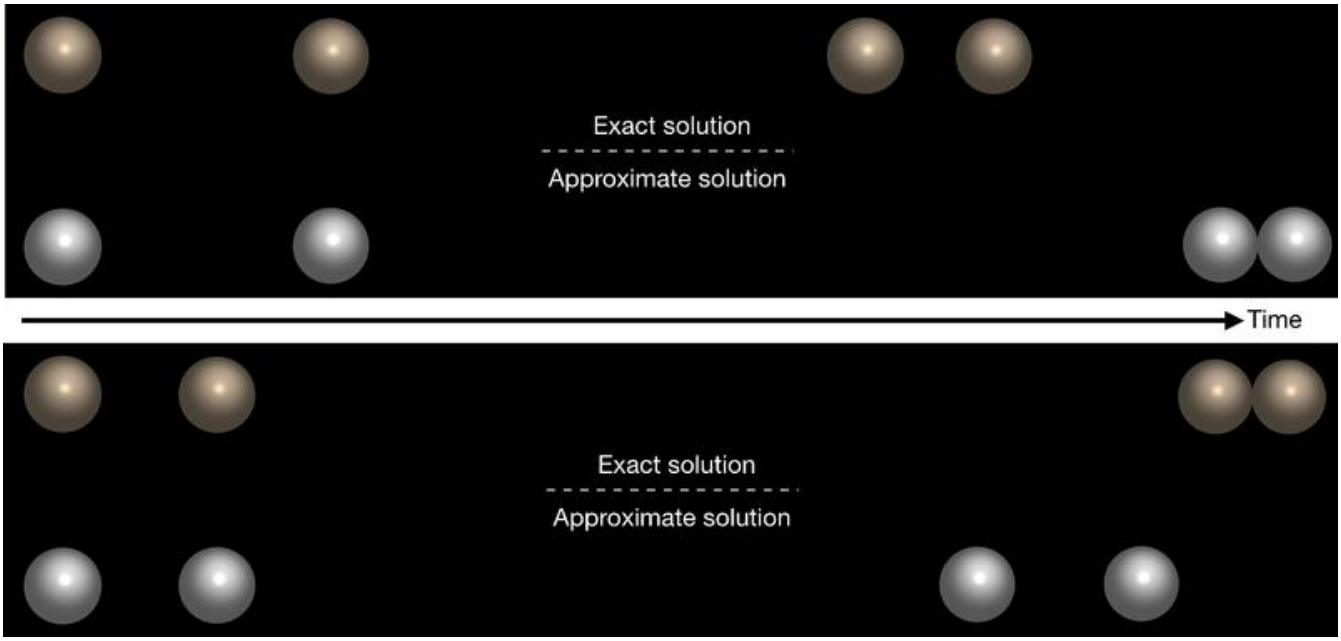
konstanter Gleichgewichtsabstand ungleich Null zwischen ihnen aufrechterhalten wird. In diesem Fall stoßen sich die Teilchen ab, wenn sie sich näher als eine bestimmte Entfernung kommen, und ziehen sich an, wenn sie sich weiter voneinander entfernen. Sie können sich auch genau umgekehrt verhalten, was zur Bildung eines instabilen Komplexes führen kann, der bei ausreichenden Störungen oder Einflüssen von außen auseinanderbrechen kann. Nasouri und Golestanian zeigen, dass die Existenz dieser beiden neuen Regime des Verhaltens auf die "Nahfeld"-Effekte zurückzuführen ist, die in der Fernfeldbeschreibung des Systems komplett ignoriert werden. "Es ist sehr schwierig zu entscheiden, was bei der Modellierung dieser komplexen Systeme ignoriert werden kann und was nicht", sagt Nasouri, der Erstautor der Studie. "Näherungslösungen sind sehr nützlich, um unser grundlegendes Verständnis eines Systems zu prägen", fügt Golestanian hinzu, "aber wir können uns kein vollständiges Bild machen, wenn wir nicht die grundlegenden Gleichungen präzise und, wenn möglich, exakt lösen".

Der zugrundeliegende Mechanismus

Durch einen exakten theoretischen Ansatz (der sowohl Nahfeld- als auch Fernfeldwechselwirkungen berücksichtigt) zeigen die Autoren, dass die Entstehung dieser beiden neuen Regime auf einen selbstgenerierten Spiegelungseffekt zurückzuführen ist. Wenn sich die Teilchen nahe beieinander befinden, wird jedes Teilchen von seiner eigenen Aktivität beeinflusst, die von seinem Nachbarn reflektiert wird. "Es ist, als ob jedes Teilchen wie ein Spiegel für seinen Nachbarn wirkt", sagt Nasouri. Er fügt hinzu: "Diese Reflexion kann der Anziehung oder Abstoßung, die von dem benachbarten Teilchen ausgeht, entgegenwirken und das erzeugt diese neuen Regimes des Verhaltens.

wissenschaftliche Ansprechpartner:
Babak Nasouri, Ramin Golestanian, MPIDS Göttingen, Germany

Originalpublikation:
"Exact Phoretic Interaction of Two Chemically Active Particles", Babak Nasouri and Ramin Golestanian, Phys. Rev. Lett. 124 (2020) 168003, doi 10.1103/PhysRevLett.124.168003



Vergleich zwischen der exakten und der Näherungslösung für die Wechselwirkung zwischen zwei chemisch aktiven Teilchen.
© MPIDS / B. Nasouri & R. Golestanian