

Tor! Ein Nano-Fußball wird zum Magneten

15.07.2026, 11:35 | Wissenschaft, Forschung, Bildung

Pressemitteilung von: *idw - Informationsdienst Wissenschaft*



Im Gegensatz zu Kühlschrankmagneten sind Elektromagneten nur dann magnetisch, wenn ein elektrischer Strom durch sie fließt. Diese vorübergehende – und damit steuerbare – Form des Magnetismus ist in zahlreichen Anwendungen unverzichtbar, etwa bei Industriekränen, Elektromotoren, MRT-Geräten und anderen elektronischen Vorrichtungen.

Im Nanomaßstab – also in einem Bereich von nur einigen Milliardstel Metern – können Wissenschaftler:innen einzelne Moleküle so konstruieren, dass sie sich wie winzige Elektromagneten verhalten. Ein technologischer Durchbruch auf diesem Gebiet könnte eine neue Ära der Nanoelektronik einläuten; bislang sind die in Ein-Molekül-Schaltkreisen erzeugten Magnetfelder jedoch typischerweise schwach.

In einer rein theoretischen Studie haben PhD-Student Wanzhuo Shi und Professorin Latha Venkataraman am Institute of Science and Technology Austria (ISTA) gemeinsam mit internationalen Partner:innen ein physikalisches Phänomen entdeckt, das einzelne Moleküle wie starke Elektromagneten wirken lassen könnte. Ihre vollständig organischen Moleküle besitzen ring- oder kugelförmige Strukturen, die zirkulierende elektrische Ströme verstärken und so die vorhergesagten lokalen Magnetfelder über die Nachweisgrenze hinaus erhöhen. Diese Ergebnisse könnten künftig für das Design von Ein-Molekül-Nanogeräten genutzt werden.

Herausforderungen der molekularen Elektronik überwinden

„Wie stark müsste ein Magnetfeld sein, um eine Festplatte zu löschen?“, fragt Venkataraman Shi, als sie ihre Resultate besprechen.

Diese scheinbar einfache Frage verdeutlicht den Größenunterschied zwischen den Magnetfeldern in alltäglicher Elektronik und jenen, die in Ein-Molekül-Schaltkreisen erreichbar sind.

Shi antwortet: „Mindestens etwa 0,5 Tesla.“ Das ist ungefähr die Hälfte der Feldstärke, mit der auf einem Schrottplatz ein Auto angehoben wird.

„Das erscheint viel im Vergleich zu dem, was unsere Ein-Molekül-Elektromagneten leisten können“, meint Venkataraman.

Kühlschrankschmagnet besitzen hingegen ein Magnetfeld von etwa fünf Millitesla. Damit Ein-Molekül-Elektromagneten in der Nanoelektronik experimentell relevant werden, müssen sie Felder ähnlicher Stärke erzeugen. In den meisten Fällen bleiben diese jedoch unterhalb der Nachweisgrenzen.

Eines Tages könnte es möglich sein, Daten auf Festplatten zu schreiben, indem ein winziger Strom durch ein einziges Molekül an der Spitze eines Sensors geleitet wird. Bevor die Technologie jedoch industriereif ist, stellt sich die Frage: Können Wissenschaftler:innen Moleküle so konstruieren, dass sie als ausreichend starke Mini-Magneten fungieren?

Unerwartete Messungen

Jede:r kann zu Hause einen Elektromagneten bauen – man benötigt lediglich etwas Kupferdraht, eine Batterie und optional einen Eisennagel. Wird der Draht zu einer Spule gewickelt und an die Batteriepole angeschlossen, entsteht im Inneren der Spule ein Magnetfeld. Wickelt man den Draht um den Nagel, verstärkt dies das Feld zusätzlich.

Im Nanomaßstab besteht der gesamte Stromkreis aus Gold-Elektroden, die an ein einziges organisches Molekül aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen angeschlossen werden. In einer früheren experimentellen Studie, die das Team an der Columbia University durchführte, bevor die Venkataraman Gruppe ans ISTA wechselte, bestimmte Shi die Leitfähigkeit eines ringförmigen organischen Moleküls – einer sogenannten „Nanohoop“. Die Leitfähigkeit beschreibt, wie leicht elektrischer Strom durch ein Material oder Molekül fließt. Dabei zeigte sich, dass das Vorhandensein oder Fehlen dieser Nanohoop-Struktur einen messbaren Unterschied bewirkte.

„Nachdem wir ans ISTA kamen, begann ich, über den Weg des Stroms in solchen Nanohoops nachzudenken“, sagt Shi. „Eine zentrale Frage war, ob überhaupt ein Strom durch den Ring fließt oder ob er einfach von einer Elektrode direkt zur anderen geleitet wird.“

Diese Frage ist besonders relevant, weil das entstehende Magnetfeld proportional zum Strom sein soll, der im Ring zirkuliert.

Ein Quanteneffekt überlagert einen anderen

Um die Strompfade und ihren Einfluss auf das resultierende Magnetfeld zu verstehen, wählte Shi einen rein theoretischen Zugang. Er vereinfachte die ursprüngliche Ring- und Ketten-Struktur und ließ nur den Nanohoop und einen sehr kurzen Weg zwischen den Gold-Elektroden bestehen. Ein einfaches Modell dieser Struktur lässt sich wie ein Riesenrad vorstellen, das auf seinen Elektroden steht.

Man kann es sich wie ein voll besetztes Riesenrad vorstellen, an dem eine lange Schlange wartet: Steigt eine Person aus, rückt sofort die nächste nach – und das Rad dreht sich weiter. „Die Menschen, die ein- und aussteigen, repräsentieren den Strom, der in die Elektroden hinein- und aus ihnen herausfließt, während die Fahrgäste auf dem Rad den größeren Strom darstellen, der im Nanohoop kreist“, erklärt Venkataraman. Manche steigen sofort wieder aus, andere fahren eine Runde mit und verlassen das Rad dann.

Der Strom, der von einer Elektrode zur nächsten fließt, ist im Nanobereich durch die Quantelung des Leitwerts (Englisch, conductance quantum) begrenzt, doch dieses Limit gilt offenbar nicht für den Strom, der im Ring zirkuliert.

In ihren Berechnungen identifizierte das Team einen weiteren Effekt, die sogenannte „Quanteninterferenz“, die den zirkulierenden Strom in ihrem Ein-Molekül-Elektromagneten deutlich verstärken kann. Da die Molekülstruktur mehrere energetisch gleichwertige Zustände – genannt „entartete Resonanzen“ (Englisch, degenerate resonances) – einnehmen kann, ermöglicht Quanteninterferenz in der Nähe dieser Zustände, dass der Strom im Ring nicht nur deutlich verstärkt wird, sondern auch seine Richtung umkehren kann.

In herkömmlichen Elektromagneten kehrt man die Stromrichtung durch das Umpolen zwischen den Elektroden um. „Wir haben festgestellt, dass sich ausschließlich der Strom im Nanohoop umkehrt und verstärkt, obwohl wir Richtung und Stärke des Stroms zwischen den Elektroden nicht verändern“, sagt Venkataraman. „Mithilfe der Quanteninterferenz können wir die Stromstärke im Ring regulieren und steuern, ob er im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn fließt

– einfach durch Anpassen einer Gate-Spannung.“

Ein Fußball – aber im Nanomaßstab

Um die gezielte Umkehr und Verstärkung des Stroms besser kontrollieren zu können, wandte sich das Team einer kugelförmigen C60-Buckminsterfulleren-Struktur zu – im Wesentlichen einem Nano-„Fußball“. Diese Form erleichtert es, das Magnetfeld des Moleküls in zukünftigen Experimenten zu verstärken. Werden die Gold-Elektroden an bestimmten Punkten dieses Nano-Fußballs angebracht, kann der verstärkte Strom in der gesamten Kugel zirkulieren und erzeugt dabei ein Magnetfeld von über 14 Millitesla bei einer Source-Drain-Spannung von nur 100 Millivolt. Das entspricht fast der dreifachen Stärke eines Kühlschranks – konzentriert in einem einzigen Molekül.

„Unsere Arbeit liefert Gestaltungsprinzipien, um ein einzelnes Molekül durch Ausnutzung seiner Struktur und der relevanten Quanteneffekte in einen effektiven Elektromagneten zu verwandeln“, sagt Shi.

Mit dem Finale der Fußball-Weltmeisterschaft vor der Tür stellt sich die Frage: Könnten unsere alltäglichen elektronischen Geräte eines Tages einen winzigen Fußball auf einem Mikrochip enthalten?

--

Projektförderung:

Diese Arbeit wurde von der National Science Foundation im Rahmen des Projekts NSF-DMR 2241180, vom Institute of Science and Technology Austria (ISTA) sowie teilweise vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) [10.55776/COE5] (Cluster of Excellence MECS) unterstützt. Die Zusammenarbeit zwischen L.V., R.K. und F.E. wurde durch die Alexander von Humboldt-Stiftung gefördert.

Originalpublikation:

Publikation:

Wanzhuo Shi, Richard Korytár, Ferdinand Evers, John D. Tovar, Latha Venkataraman. 2026. Designing Effective Single-Molecule Electromagnets with Radially π -Conjugated Carbon Structures. Nature Communications. DOI:

10.1038/s41467-026-74365-6

<https://doi.org/10.1038/s41467-026-74365-6>

Institute of Science and Technology Austria

Veronika Oleksyn (Mitarbeiter in der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit)

+43 664 88326665

veronika.oleksyn@ista.ac.at

<https://www.openpr.de/news/1318185/Tor-Ein-Nano-Fussball-wird-zum-Magneten-idw.html>