

Pressemitteilung

Empa - Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

Karin Weinmann

02.06.2020

<http://idw-online.de/de/news748424>

Forschungsergebnisse, Forschungsprojekte
Chemie, Elektrotechnik, Physik / Astronomie, Werkstoffwissenschaften
überregional



Verbundene Nanodreiecke zeigen Weg zu magnetischen Kohlenstoff-Materialien

Graphen-Dreiecke von nur einigen Atomen Kantenlänge verhalten sich wie eigentümliche Quantenmagnete. Wenn zwei dieser Nanodreiecke verbunden werden, findet eine «Quantenverschränkung» ihrer magnetischen Momente statt: Die Struktur wird antiferromagnetisch. Dies könnte ein Durchbruch für künftige magnetische Materialien sein – und ein weiterer Schritt Richtung Spintronik. Eine internationale Gruppe unter der Leitung von Empa-Forschenden veröffentlichte das Ergebnis kürzlich in der Zeitschrift «Angewandte Chemie».

Der «Wunderstoff» Graphen – eine zweidimensionale, nur eine Atomlage dünne Bienenwabenstruktur aus Kohlenstoffatomen – hat zahlreiche herausragende Eigenschaften. Dazu gehören etwa enorme mechanische Widerstandsfähigkeit und ausserordentliche elektronische und optische Eigenschaften. Dass er sogar magnetisch sein kann, konnte ein Team unter Leitung von Empa-Forschenden um Roman Fasel im vergangenen Jahr zeigen: Es gelang ihnen, ein Molekül in der Form einer Smoking-Fliege zu synthetisieren, das besondere magnetische Eigenschaften hat.

Nun ist ein weiterer Durchbruch auf diesem Weg gelungen. Theoretische Arbeiten aus dem Jahr 2007 sagten voraus, dass Graphen magnetisches Verhalten aufweisen könnte, wenn es in winzige Dreiecke geschnitten wird. In den letzten drei Jahren gelang es dann auch mehreren Teams, darunter dem Empa-Team, mittels chemischer Synthesen im Ultrahochvakuum so genannte Triangulene herzustellen, die aus nur wenigen Dutzend Kohlenstoffatomen bestehen.

Mit dem Rastertunnelmikroskop dem Magnetismus auf der Spur

Ihr Magnetismus war jedoch bisher unentdeckt geblieben. Denn das Überprüfen dieser Eigenschaft ist aus zwei Gründen eine grosse Herausforderung: Erstens macht das Vorhandensein von ungepaarten Spins, die Triangulene überhaupt erst magnetisch machen, diese zugleich enorm reaktiv. Und zweitens ist es selbst bei stabilen Molekülen äusserst schwierig, den Magnetismus eines so winzigen Stückchens Materie nachzuweisen. Doch nun ist einer internationalen Gruppe von Wissenschaftlern der Empa, der Technischen Universität Dresden, der Universität Alicante und dem «International Iberian Nanotechnology Laboratory» in Portugal genau dies gelungen.

Den Durchbruch ermöglichte ein leistungsfähiges Werkzeug zur Erforschung der Materie auf atomarer Ebene – das Rastertunnelmikroskop (STM, engl. «scanning tunnelling microscope»). Das STM erlaubt es, elektrische Ströme über einzelne Atome oder Nanostrukturen, die auf einem leitenden Substrat abgeschieden sind, zu leiten. Dabei hatten einzelne Triangulene aber bislang nur indirekte Hinweise auf ihre magnetische Natur gegeben.

Doppeldreieck mit Quantenverschränkung

Nun aber untersuchten die Forscher Moleküle, bei denen zwei Triangulene über eine einzelne Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung miteinander verbunden sind (so genannte Triangulen-Dimere). Diese Strukturen lieferten einen direkten Nachweis der magnetischen Natur der Triangulene. Denn die Theorie besagt folgendes: Sind zwei Triangulene miteinander verbunden, so bleibt nicht nur ihr Magnetismus erhalten; ihre magnetischen Momente sollten zudem einen «quantenverschränkten» Zustand bilden. Das heisst: Der Spin – das Drehmoment – ihrer ungepaarten Elektronen sollte in entgegengesetzte Richtungen zeigen. Dieser Zustand ist als antiferromagnetischer (oder Spin-o) Zustand bekannt.

Darüber hinaus sagte die Theorie auch voraus, dass es möglich sein sollte, die Triangulen-Dimere in einen Zustand anzuregen, in dem ihre Spins nicht mehr perfekt ausgerichtet sind (Spin-1-Zustand). Die Energie, die benötigt wird, um diese Anregung zu bewirken, die sogenannte Austauschenergie, spiegelt die Stärke wider, mit der die Spins der beiden Triangulen-Dimere im antiferromagnetischen Zustand miteinander verbunden sind. Und tatsächlich stellten die Forscher und Forscherinnen in ihren Experimenten fest, dass das Triangulen-Dimer durch «Zugabe» von Elektronen mit einer Energie von 14 meV in den Spin-1-Zustand angeregt werden kann.

Organische magnetische Materialien für die Spintronik

Ausserdem synthetisierten die Wissenschaftler ein zweites Triangulen-Dimer, bei dem die Triangulen-Einheiten nicht direkt durch eine Kohlenstoff-Kohlenstoff-Einfachbindung, sondern durch einen "Abstandshalter" (Spacer), einen hexagonalen Kohlenstoffring, verbunden waren. Die Forscher erwarteten, dass dieses grössere Verbindungselement zwischen den Triangulenen die Austauschenergie erheblich senken würde. Und genau das zeigten auch die Experimente: Die Austauschenergie betrug nun nur noch 2 meV – 85% weniger als bei den direkt miteinander verbundenen Triangulenen.

Diese Ergebnisse sind nicht nur deshalb relevant, weil sie einen Beweis für den lang gesuchten Magnetismus in Triangulenen liefern, sondern auch weil sie zeigen, wie diese bemerkenswerten Nanosysteme zu grösseren Strukturen mit quantenverschränkten magnetischen Zuständen verbunden werden können. In Zukunft könnten solche neuen (und rein organischen) magnetischen Materialien nicht nur in Technologien wie der spin-basierten Informationsverarbeitung, die schnellere Computer mit niedrigem Stromverbrauch versprechen, oder in Quantentechnologien Verwendung finden; sie könnten auch einen fruchtbaren Boden für die Erforschung exotischer physikalischer Phänomene liefern.

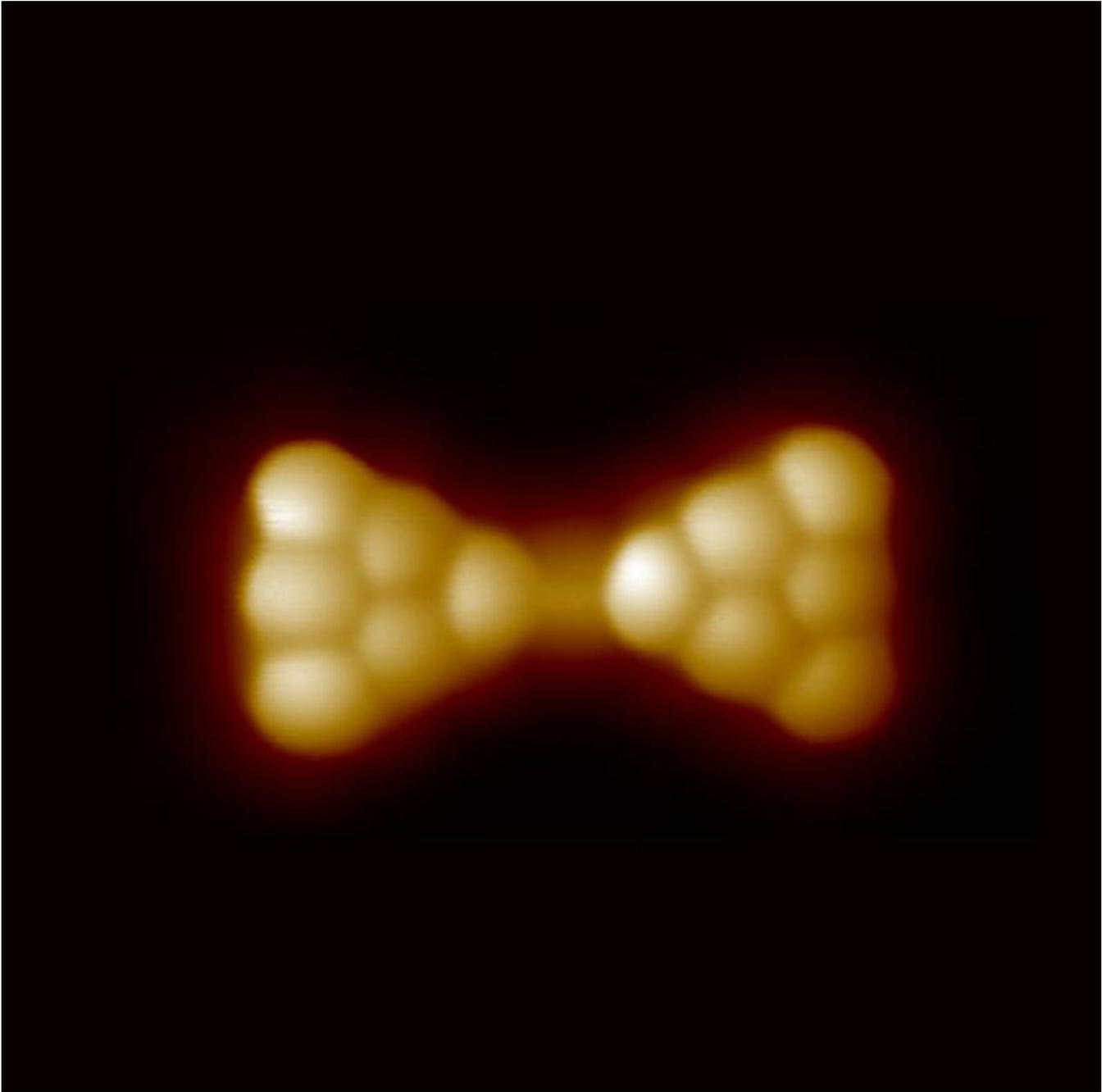
wissenschaftliche Ansprechpartner:

Dr. Pascal Ruffieux
nanotech@surfaces Laboratory
Tel: +41 58 765 4693
pascal.ruffieux@empa.ch

Originalpublikation:

S Mishra, D Beyer, K Eimre, R Ortiz, J Fernández-Rossier, R Berger, O Gröning, CA Pignedoli, R Fasel, X Feng, P Ruffieux; Collective All-Carbon Magnetism in Triangulene Dimers; Angew. Chem. Int. Ed(2020); doi:10.1002/anie.202002687

URL zur Pressemitteilung: <https://www.empa.ch/web/s6o4/triangulenes>



Wenn Graphen-Nano-Dreiecke zusammengefügt werden, bilden ihre magnetischen Momente einen «quantenverschränkten» Zustand.

Empa