



Handschlag der Atome: rechtshändig oder linkshändig?

Händigkeit ist eine sonderbare Brechung der Symmetrie einer Struktur oder eines Musters bei der dessen Spiegelbild nicht mit dem Original zur Deckung gebracht werden kann. Während das bekannteste Beispiel sicherlich unsere eigene Hand ist, die dieser Art von Asymmetrie den Namen gab, kennen verschiedene Disziplinen der Naturwissenschaften eine Reihe von anderen Materialien oder Strukturen, die ebenfalls Händigkeit zeigen: Aminosäuren und Zuckermoleküle, Schneckenhäuser, und Magnetisierungswirbel, sogenannte Skyrmionen, die in letzter Zeit aufgrund ihrer besonderen magnetischen Eigenschaften als vielversprechende neue Einheiten für die Speicherung und Verarbeitung von Information auf kleinstem Raum gehandelt werden. In all diesen Strukturen können wir Linkshänder und Rechtshänder unterscheiden, die Spiegelbilder ihrer selbst sind. Während bei einigen dieser Beispiele Links- und Rechtshänder in gleicher Häufigkeit vorkommen, gibt es Systeme, bei denen eine

der Händigkeiten überwiegt. Die Ursache dieser sogenannten Homochiralität ist bei vielen der Systeme bisher unbekannt, und es wird in einigen Fällen sogar vermutet, dass evolutionsartige Prozesse dafür verantwortlich sind.

Ein Team von Forschern der Universität Hamburg in Zusammenarbeit mit Kollegen der Radboud Universität in Nijmegen, des Forschungszentrums Jülich und des Max Planck Instituts für Festkörperforschung in Stuttgart hat die atomare Ursache der Händigkeit der Magnetisierung in den kleinstmöglichen Einheiten magnetischer Strukturen untersucht. Durch Beobachtung der Magnetisierung eines Paares von Eisenatomen auf der Oberfläche eines Platinkristalls mittels eines Rastertunnelmikroskops konnten die Wissenschaftler eine Rechtsdrehung der Magnetisierung herleiten, d.h. das Paar ist rechtshändig. Durch Verschieben des rechten Atoms um nur einen Atomdurchmesser weg von dem linken Atom änderte sich dieser Rotationssinn von rechtsdrehend

nach linksdrehend, d.h. das Paar wurde in ein linkshändiges System verwandelt. Zusammen mit den Theoretikern des Forschungszentrums Jülich zeigte das Team, dass der für die Händigkeit verantwortliche Mechanismus ein über die Platinatome vermittelter magnetischer Handschlag ist (Abb. 1). Die Forscher hoffen nun, dass sie die Spitze des Rastertunnelmikroskops als Werkzeug benutzen können, um Gitter von Hunderten solcher Eisenatome zu bauen, die dann rechts- oder linkshändige Skyrmionen enthalten könnten.

Diese beispiellose Kontrolle der Magnetisierung würde es in Zukunft erlauben, stabile magnetische Wirbel mit maßgeschneiderten Größen und Händigkeiten zu konstruieren, welche als neue Informationsspeicher dienen könnten.

[1] Tailoring the chiral magnetic interaction between two individual atoms, A.A. Khajetoorians, M. Steinbrecher, M. Ternes, M. Bouhassoune, M. dos Santos Dias, S. Lounis, J. Wiebe, and R. Wiesendanger, *Nature Communications* 7, 10620 (2016).

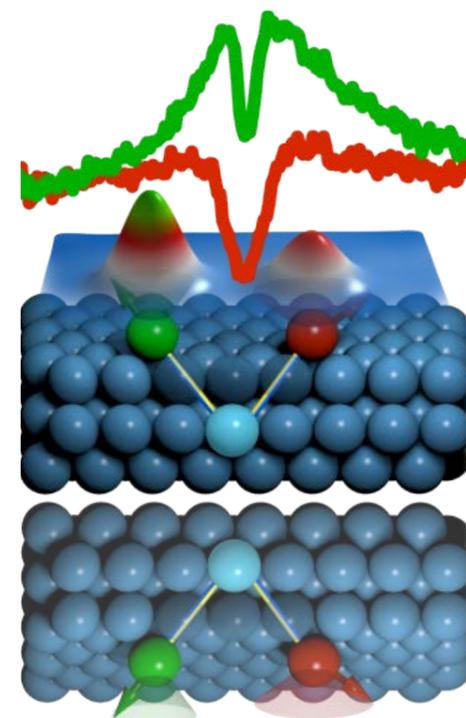


Abb. 1: Die Abbildung zeigt ein Paar von Eisenatomen (Kegel) auf der Oberfläche eines Platinkristalls. Die Spektren des linken und rechten Atoms (grüne und rote Linie) zeigen charakteristische Stufen, aus denen auf eine rechtsdrehende Magnetisierung geschlossen werden kann. Der Grund für diese Rechtshändigkeit ist eine Art magnetischer Handschlag zwischen den beiden Eisenatomen, der über die Platinatome im Substrat (blaue Kugeln) übertragen wird.

Stabilität magnetischer Bits aus Skyrmionen

Ein zentraler Aspekt unserer digitalisierten Welt ist die Speicherung von einer immensen Menge an Daten. Es gibt aktuell verschiedene Methoden dieses zu bewerkstelligen, wobei eine davon auf der Verwendung von unterschiedlich magnetisierten Speicherzellen basiert. In den einzelnen Zellen sind alle atomaren Magnete gleich ausgerichtet, diese können aber für unterschiedliche Zellen in zwei verschiedene Richtungen zeigen. Eine Zelle kann damit zwei verschiedene Zustände haben und bildet auf diese Weise ein Informationsbit, welches der elementare Baustein eines jeden digitalen Speichermediums ist. In einem

magnetischen Datenspeicher wie zum Beispiel der herkömmlichen Festplatte werden viele dieser magnetischen Bits auf einer Scheibe geschrieben und wieder ausgelesen.

Um in der Zukunft das Bedürfnis nach Speichermedien mit noch größeren Kapazitäten befriedigen zu können, müssen die Speicherzellen weiter miniaturisiert werden. Mit den herkömmlichen magnetischen Speichermedien ist dies nur noch begrenzt möglich, da es eine minimal mögliche Größe für stabile magnetische Bits gibt. Dies liegt daran, dass die magnetischen Zellen unterhalb dieser kritischen Größe thermisch

instabil werden und spontan ihren Zustand ändern können, wodurch die Information verloren gehen würde.

Es bedarf daher neuer Wege um die Miniaturisierung voranzubringen. In diesem Zusammenhang hat in den letzten Jahren insbesondere die experimentelle Entdeckung von magnetischen Skyrmionen in ultradünnen, metallischen Schichten von sich reden gemacht. In einem Skyrmion sind die atomaren Magnete nicht gleich ausgerichtet, sondern bilden einen magnetischen Knoten, bei denen sich die magnetischen Momente mit einem festen Drehsinn innerhalb einer Ebene um 360° drehen.

Diese Skyrmion-Knoten sind sehr stabil und haben darüber hinaus weitere vielversprechende Eigenschaften für neuartige Speichermedien, in denen man zwischen einer Skyrmion-Zelle („1“) und einer gewöhnlichen ferromagnetischen Zelle („0“), in der alle atomaren Momente gleich ausgerichtet sind, schalten würde.

Im Oktober 2015 wurde von Hamburger Wissenschaftlern erstmals die Stabilität einzelner Skyrmionen als Funktion der Temperatur und eines stabilisierenden äußeren Magnetfeldes erforscht. Durch das Justieren der Magnetfeldstärke kann die Lebensdauer

er der Skyrmionstruktur gezielt beeinflusst werden. Es stellte sich bei den Untersuchungen heraus, dass sich die beiden Zustände „0“ (Ferromagnet) und „1“ (Skyrmion) hinsichtlich ihrer Stabilitätseigenschaften sehr unterschiedlich verhalten.

„Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass solche Skyrmion-Knoten von einer ferromagnetischen Oberfläche nur schwer entfernt werden können und gerade diese Eigenschaft macht die Skyrmionen so wertvoll für die Anwendung in zukünftigen Speichermedien.“ erläutert Dr. Elena Vedmedenko, Mitglied der Forschungsgruppe von Prof. Roland Wiesendanger.

Die in Hamburg gewonnenen Erkenntnisse werden möglicherweise in der Zukunft dazu beitragen können, die Lebensdauer und Schalteigenschaften von Skyrmionen in geeigneten Speichermedien präzise zu kontrollieren, was die Entwicklung völlig neuartiger und maßgeschneiderter Datenspeicher mit gigantischer Speicherkapazität ermöglichen könnte.

[1] Stability of Single Skyrmionic Bits, J. Hagemeyer, N. Romming, K. von Bergmann, E. Y. Vedmedenko, and R. Wiesendanger, *Nature Communications* 6, 8455 (2015).

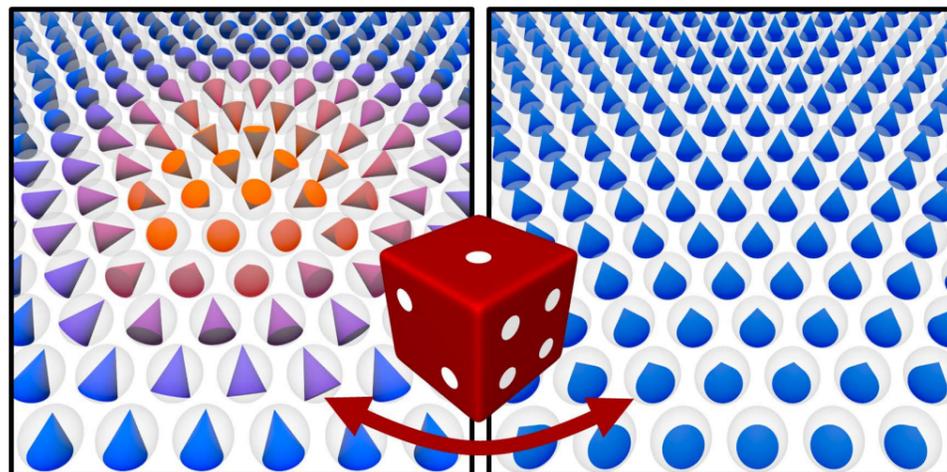


Abb. 2: Die Konfigurationen eines magnetischen Skyrmions auf der linken Seite und eines Ferromagneten auf der rechten Seite. Die Kegel geben die Ausrichtung der atomaren Magnete an. Das Skyrmion besteht aus wenigen Atomen und besitzt einen Durchmesser von nur wenigen Nanometern.



Nano-Skymionen auf einem Silizium-Wafer realisiert

Aufgrund ihrer Robustheit stehen Skymionen aktuell im Fokus zahlreicher Forschungsvorhaben weltweit, um z. B. die Grundlagen für neuartige Datenspeichertechnologien zu entwickeln. Hierbei dienen einzelne Skymionen als Träger der digitalen Information „0“ oder „1“. Die kleinste Realisierung von Skymionen wurde von Forschern an der Universität Hamburg erzeugt, indem eine einzelne atomare Lage Eisen auf eine Iridium-Oberfläche aufgebracht wurde. Jedes der mittels spin-polarisierter Rastertunnelmikroskopie beobachteten Nano-Skymionen in Gitteranordnung besteht dabei lediglich aus 15 atomaren Spins. Auf dem mit Palladium abgedeckten System Palladium/Eisen/Iridium können die Wissenschaftler inzwischen einzelne Nano-Skymionen beobachten und sie sogar gezielt erzeugen oder löschen, wodurch gezeigt wurde, dass die Kapazität heutiger Festplatten um mehrere Größenordnungen gesteigert werden könnte.

Auf dem Weg zur kommerziellen Realisierung dieser sogenannten „Skymionics“-Technologie ist nun eine weitere wichtige Hürde genommen worden: Während die bisherigen Experimente auf Einkristall-Substraten basierten, konnten nun in einer gemeinsamen Arbeit der Universitäten Augsburg und Hamburg erstmals Nano-Skymionen auf Silizium-Wafer-Basis mittels Multilagenwachstum realisiert werden. Auf einen konventionellen 4-Zoll Silizium-Wafer wurde hierfür eine einkristalline Iridium-Lage von wenigen Nanometern aufgebracht, die dann mit einer einzelnen atomaren Lage Eisen abgedeckt wurde. Die Untersuchungen zeigen, dass auf der Oberfläche dieses Systems ein Nano-Skymionen-Gitter entsteht, das dem auf Iridium-Einkristall-Substraten präpariertem in allen Charakteristika gleichwertig ist. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass das Skymionen-Gitter sogar robust gegenüber lokalen Verzerrungen des atomaren Gitters ist. Die heutige Fertigungstechno-

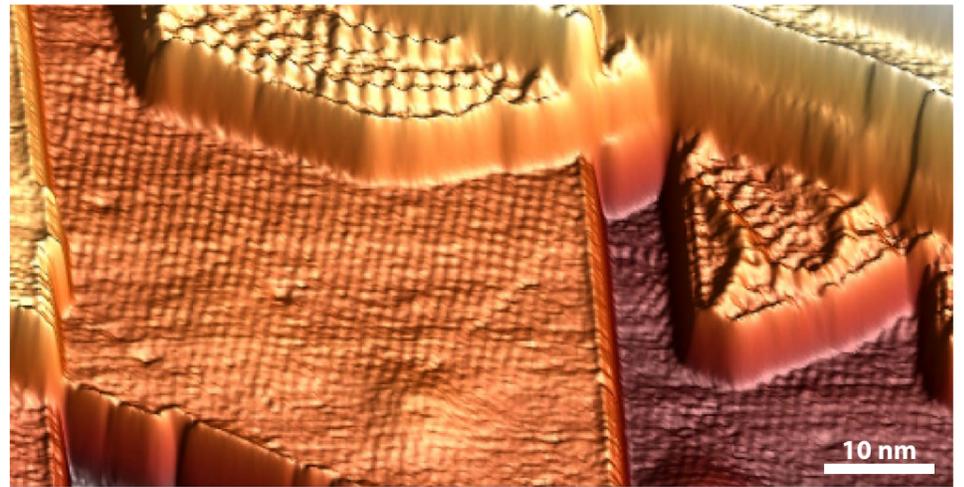


Abb. 3: Oberfläche des Silizium-Wafer-basierten Systems Eisen/Iridium: Im Bereich der Bedeckung mit einer einzelnen atomaren Lage Eisen ist das magnetische Skymionen-Gitter als periodische, quadratische Musterung zu erkennen.

logie in der Halbleiter-Industrie basiert auf dem Multilagenwachstum auf Silizium-Wafern. Die Experimente der Forscher demonstrieren daher, wie bestehende und etablierte industrielle Fertigungstechnologien für die Fabrikation von Skymion-basierten Bauteilen genutzt werden können. Ein zeit- und kostenaufwändiger „Umbruch“ der Fertigung auf dem Weg zu einer neuartigen, Skymion-

on-basierten Technologie ist also nicht notwendig, was insbesondere die Großserienhersteller in der Halbleiter-Branche aufhorchen lassen wird.

[1] *Magnetic Nano-skyrmion Lattice Observed in a Si-Wafer-Based Multilayer System*, A. Schlenhoff, P. Lindner, J. Friedlein, S. Krause, R. Wiesendanger, M. Weinl, M. Schreck, M. Albrecht, *ACS Nano* **9**, 5908 (2015).

Lesen von magnetischen Skymionen leichtgemacht

Derzeit werden kleinste magnetische Wirbel – sogenannte Skymionen – als vielversprechende Kandidaten für Bits in zukünftigen robusten und kompakten Datenspeichern diskutiert. Solche exotischen magnetischen Strukturen konnten in den letzten Jahren an der Universität Hamburg in ultra-

dünnen magnetischen Schichten und Multilagensystemen nachgewiesen werden, wie sie bereits heute in Schreib-Lese-Köpfen von Festplatten und in magnetischen Sensoren genutzt werden. Zum Auslesen von Skymionen war allerdings bislang ein weiterer Magnet notwendig. Jetzt haben

Forscher der Universität Hamburg und der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel gezeigt, dass man Skymionen prinzipiell viel einfacher nachweisen kann, da sich in den magnetischen Wirbelstrukturen der elektrische Widerstand drastisch ändert. Für zukünftige Datenspeicherkonzepte verspricht dies eine enorme Vereinfachung in der Herstellung und Anwendung.

Stabile Wirbel in magnetischen Materialien (Abb. 4) sind bereits vor über 25 Jahren vorhergesagt worden, konnten aber erst vor wenigen Jahren experimentell nachgewiesen werden. Die Entdeckung solcher Skymionen in dünnen magnetischen Schichten und Multilagen, welche heutzutage in vielen technologischen Anwendungen bereits genutzt werden, und die Möglichkeit, diese Skymionen bereits mit geringen elektrischen Stromdichten zu bewegen, hat die Perspektive eröffnet, sie als Bits in neuartigen Datenspeichern zu verwenden.

Bislang wurden einzelne magnetische Wirbel entweder durch Elektronen-Mikroskopie oder durch Messung der Widerstandsänderung in einem Tunnelkontakt mit einer magnetischen Sonde nachgewiesen. Wissenschaftler der Universität Hamburg konnten nun mit Hilfe eines Rastertunnelmikroskops demonstrieren, dass sich der

Widerstand auch dann ändert, wenn man bei der Messung ein nicht-magnetisches Metall verwendet. „In unserem Experiment können wir eine metallische Spitze mit atomarer Präzision über eine Oberfläche bewegen, und so den Widerstand eines Skymions an unterschiedlichen Positionen vermessen“, so Christian Hanneken, Doktorand in der Arbeitsgruppe von Prof. Roland Wiesendanger. Dadurch kann die ortsabhängige Widerstandsänderung im magnetischen Wirbel nachgewiesen werden. „Die beobachtete Widerstandsänderung kann bis zu 100% betragen und erlaubt damit eine einfache Detektion von Skymionen“, wie Dr. Kirsten von Bergmann erläutert.

In zukünftigen Anwendungen könnte dieser neu entdeckte Effekt genutzt werden, um die Skymionenbits auf einfache Weise auszu-lesen. Die Möglichkeit, beliebige metallische Elektroden verwenden zu können, erleichtert dabei die Herstellung und den Betrieb der neuartigen Speicherelemente erheblich.

[1] *Electrical detection of magnetic skyrmions by tunnelling non-collinear magnetoresistance*, C. Hanneken, F. Otte, A. Kubetzka, B. Dupé, N. Romming, K. von Bergmann, R. Wiesendanger, and S. Heinze, *Nature Nanotechnology* **10**, 1039 (2015).

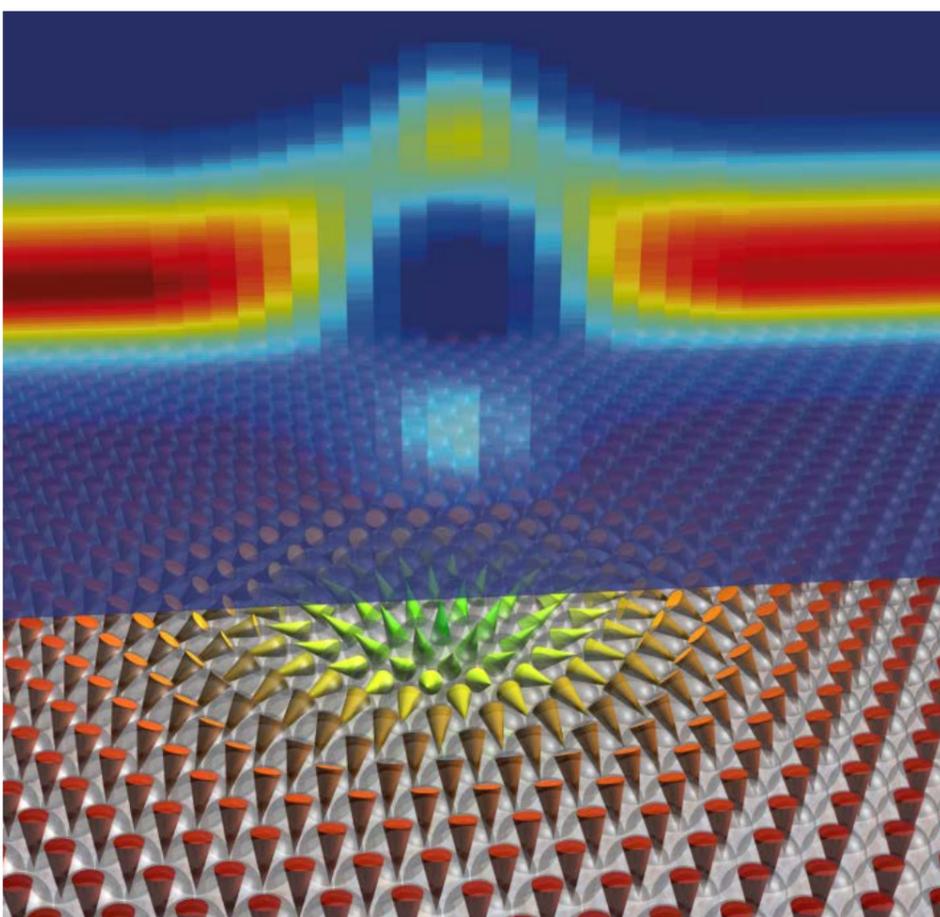


Abb. 4: Magnetische Wirbel mit einem Durchmesser von nur wenigen Nanometern auf einem dünnen Film aus Palladium und Eisen.



Verknotete molekulare Magnete

Getrieben von der rasanten Entwicklung der Informationstechnologie gerade im mobilen Bereich stößt die herkömmliche Halbleiter-Technologie bald an ihre Grenzen. Daher wird schon lange nach neuen effizienten Konzepten für den Informationstransport und die Informationsverarbeitung auf kleinstmöglicher Skala gesucht. Einen viel versprechenden Ansatz bietet die Nano-Spintronik, da hier nicht die Ladung der Elektronen genutzt wird, sondern nur deren „Spin“. Bereits 2011 hatten Hamburger Physiker ein Spintronik-Logik-Element vorgestellt, das aus ein paar einzelnen Atomen aufgebaut ist, aber nur bei Temperaturen um den absoluten Nullpunkt (-273°C) funktioniert. Also wurde nach „robusteren“ magnetischen Strukturen gesucht, die auch bei höheren Temperaturen stabil sind. Dazu boten sich die ebenfalls 2011 in Hamburg entdeckten magnetischen Skyrmionen auf einer Oberfläche an.

Doch wie lassen sich Skyrmionen für den Datentransport und die Informationsverarbeitung nutzen?

Die Wissenschaftler wiederholten zunächst das Experiment von 2011 und erzeugten einen atomar dünnen Eisenfilm auf einer Iridium-Oberfläche. Das entstandene Skyrmionengitter ließ sich jedoch aufgrund seiner hohen Stabilität von außen weder beeinflussen, noch konnte man Informationen weiterleiten. Um dieses Problem zu lösen, wurden kostengünstige

und leicht zu präparierende organische Moleküle auf das Skyrmionengitter aufgebracht. Die Moleküle verbanden sich mit den darunterliegenden Eisenatomen der Oberfläche zu molekularen Magneten, die sich ähnlich wie klassische Stabmagnete oder Kompassnadeln verhalten und sich z. B. mit Hilfe eines externen magnetischen Feldes ausrichten lassen. Wie es die Abb. 5 zeigt, konnten je nachdem, welche organischen Moleküle verwendet wurden, unterschiedlich große, maßgeschneiderte Ferromagnete erzeugt werden, die in etwa 10-100 Eisenatome beinhalten.

Obwohl die überraschend einfache und effiziente Methode des Maßschneiderns von Magneten auf Oberflächen bereits Potential für Anwendungen in Speichermedien besitzt, ist die bemerkenswerteste und für die Physiker interessanteste Beobachtung, dass sich die molekularen Magnete durch das Skyrmionengitter miteinander „verknöten“ lassen: Dreht man die magnetische Ausrichtung eines molekularen Magneten mit Hilfe eines externen magnetischen Feldes um, so dreht sich ebenfalls die magnetische Ausrichtung eines weiteren, weit entfernten molekularen Magneten.

Mit dieser Methode lassen sich Informationen auch über längere Strecken sicher, schnell und energieeffizient übertragen, da der eigentliche Transport ohne elektrischen Strom abläuft. Auch

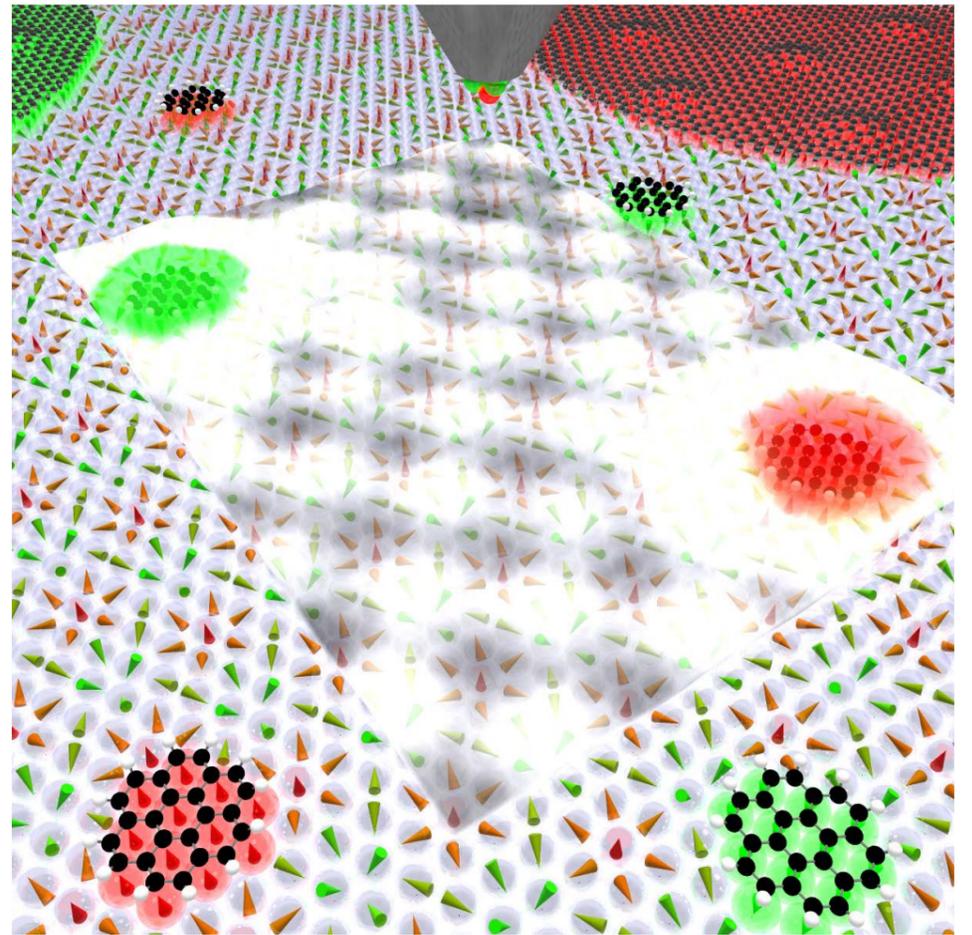


Abb. 5: Die Abbildung zeigt als Illustration das Skyrmionengitter und die Ferromagnete unter den organischen Molekülen kombiniert mit den realen Messdaten.

sind mit diesem System logische Schaltkreise vorstellbar, die extrem energieeffizient, sehr schnell und unvorstellbar klein sein könnten. Außerdem hätte die Verwendung des Spins als Übermittler der Information einen weiteren Vorteil: Es bleiben alle Informationen auch nach dem Ausschalten eines Bauteils erhalten, da diese magnetisch und nicht elektronisch gespeichert sind. Dies würde beim Starten

eines Gerätes den langwierigen Bootvorgang überflüssig machen, das System würde einfach weiterarbeiten, als wäre es nie ausgeschaltet worden.

[1] Long-range magnetic coupling between nanoscale organic-metal hybrids mediated by a nanoskyrmion lattice, J. Brede, N. Atodiresei, V. Caciuc, M. Bazarnik, A. Al-Zubi, S. Blügel, and R. Wiesendanger, *Nature Nanotechnology* **9**, 1018 (2014).

Maßgeschneiderte Kristalle mit reprogrammierbarer Bandstruktur

Das Konzept der Bandstruktur in kristallinen Festkörpern ist eine der größten Errungenschaften der Festkörperphysik. So führte das gezielte Verändern der Bandstruktur zu wichtigen Anwendungen, wie beispielsweise der blauen Leuchtdiode. Nach jahrzehntelanger Forschung konnte dafür ein Halbleitermaterial hergestellt werden, welches die passende Energielücke aufweist. Im Gegensatz zu solchen natürlichen Kristallen können die Eigenschaften von künstlichen Kristallen nach Belieben eingestellt werden. Wissenschaftler der Universität Hamburg untersuchen daher derzeit periodische Anordnungen aus ferromagnetischen Nanoscheiben im Vortexzustand auf ihr Verhalten als künstliche magnonische Kristalle. Der Vortex ist eine magnetische Wirbelstruktur, die sich in ferromagnetischen Mikro- und Nanoscheiben geeigneter

Geometrie ausbildet. Die Magnetisierung dreht in der Ebene um den Vortexkern in der Mitte, in dem die Magnetisierung aus der Ebene herauszeigt (Abb. 6 (a)). Diese Komponente der Magnetisierung kann nach oben oder nach unten zeigen und wird durch die Polarisation des Vortexkerns beschrieben. Die Polarisation kann durch eine Anregung des Vortex zu einer Gyrationbewegung mit hochfrequenten Magnetfeldern in den Vortexkristallen manipuliert werden. Dies ermöglicht es, die Kristalleigenschaften maßgeblich zu verändern. Wie in der Fachzeitschrift *Physical Review B* publiziert, ist es Wissenschaftlern der Universität Hamburg gelungen eine Bandstruktur in Vortexkristallen experimentell zu bestimmen [1]. Dabei werden durch eine phasenversetzte Anregung zweier Vortexreihen in einem zweidimensionalen Kristall Wellen

der Vortexgyration eingepreßt (Abb. 6 (b)). Mithilfe der Messung der Energieabsorption aufgrund dieser Drehbewegung kann die Bandstruktur des Vortexkristalls bestimmt werden. Diese zeigt eine starke Abhängigkeit von dem Polarisationsmuster. Durch eine geeignete Wahl der Geometrie des Kristalls kann demnach die Bandstruktur maßgeschneidert werden und ist damit einstellbar.

Mithilfe von Vortexkristallen könnten reprogrammierbare Bauteile wie beispielsweise Hochfrequenzfilter realisiert werden, deren Eigenschaften nach Bedarf eingestellt werden können.

[1] Band structure engineering of two-dimensional magnonic vortex crystals, C. Behncke, M. Hänze, C. F. Adloff, M. Weigand, and G. Meier, *Phys. Rev. B* **91**, 224417 (2015).

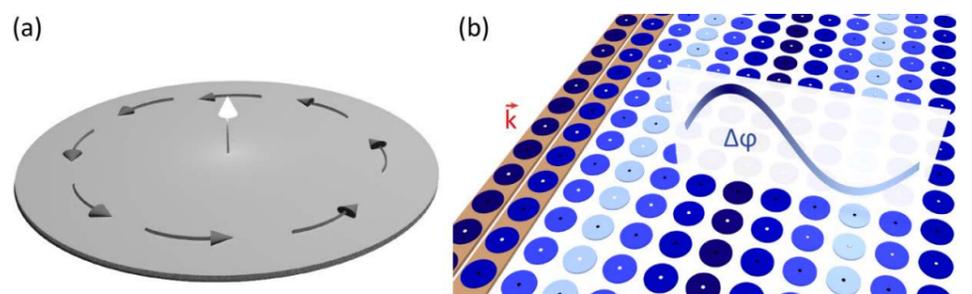


Abb. 6: (a) Schematische Darstellung des Vortexzustandes in einer ferromagnetischen Dünnscheibe. Die Magnetisierung dreht in der Ebene um den Vortexkern in der Mitte, in dem die Magnetisierung aus der Ebene herauszeigt. (b) Zweidimensionaler Vortexkristall mit farbcodierter Darstellung der Gyrationwellen, die durch eine phasenversetzte Anregung der linken beiden Vortexreihen in den Kristall eingepreßt werden.



Realisierung des Grundbausteins eines Hundschen Metalls

Die elektronischen Eigenschaften von Festkörpermaterialien beruhen auf den Eigenschaften der Elektronen, die in den Bestandteilen dieser Materialien gebunden sind. Der deutsche Physiker Friedrich Hund (1896 - 1997) stellte bereits vor fast neunzig Jahren fest, dass die Besetzung der Atomorbitale mit Elektronen (Abb. 7), die durch deren gegenseitige Abstoßung dominiert ist, auch zu einer bemerkenswerten Ordnung des sogenannten Spins dieser Elektronen führt und alle Elektronen in dem Atom tendieren dazu, mit demselben Drehsinn

zu rotieren. Diese Faustregel wird auch Hundsche Regel genannt.

Da der elektrische Strom in elektronischen Bauteilen eben genau aus von Atom zu Atom hüpfenden Elektronen besteht, könnte die Gleichrichtung der Kreisbewegung der Elektronen einen beträchtlichen Einfluss auf die elektronischen Eigenschaften haben. Metallische Materialien, in denen die Elektronenbewegung tatsächlich durch die Hundsche Regel dominiert wird, werden Hundsche Metalle genannt. Man fand kürzlich heraus, dass sich die Elektronen in Hochtemperatur-

Supraleiter in der Tat wie in einem Hundschen Metall verhalten. In diesen Materialien hüpfen die Elektronen ohne Widerstand von Atom zu Atom und können daher ohne Energieverlust durch das Material fließen. Bisher überlebt dieser sogenannte Suprastrom aber nur bei sehr tiefen Temperaturen und Wissenschaftler suchen daher nach neuen Materialien, in denen der Suprastrom bei normalen Umgebungsbedingungen überlebt. Allerdings müssen für die Suche nach solchen Materialien die Grundbausteine der Hundschen Metalle erst einmal genauer verstanden werden.

Physikern der Universität Hamburg ist es nun gelungen, den kleinsten Bestandteil eines Hundschen Metalls, eine sogenannte Hundsche Störstelle, gezielt herzustellen. Diese besteht aus einem Eisen-Wasserstoff-Molekül, welches auf die Oberfläche eines Platinkristalls aufgebracht wurde (Abb. 7). Die Forscher waren nun in der Lage, den Wasserstoff von

solch einer Hundschen Störstelle abzuspalten, indem sie die Spitze eines Rastertunnelmikroskops als Werkzeug benutzten. Dabei stellte das Team fest, dass der Wasserstoff in der Hundschen Störstelle einen sehr starken Einfluss auf deren elektronische Eigenschaften hat. In einem nächsten Schritt wollen die Forscher viele solcher Hundschen Störstellen koppeln, indem sie viele Eisen-Wasserstoff-Moleküle mit Hilfe der Spitze des Rastertunnelmikroskops zusammenfügen. Wenn dies klappt, könnten sie ein Hundsches Metall Atom für Atom aufbauen. Eine genaue Untersuchung der Eigenschaften dieses Modellsystems wird wichtige Einsichten für die zielgerichtete Suche nach neuen Hochtemperatur-Supraleitern gestatten.

[1] Tuning emergent magnetism in a Hund's impurity, A. A. Khajetoorians, M. Valentyuk, M. Steinbrecher, T. Schlenk, A. Shick, J. Kolorenč, A. I. Lichtenstein, T. O. Wehling, R. Wiesendanger and J. Wiebe, *Nature Nanotechnology* **10**, 958 (2015).

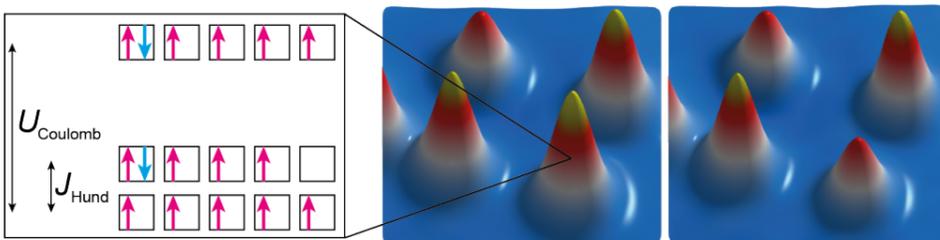


Abb. 7: Links: Besetzung von fünf Atomorbitalen mit fünf oder sechs Elektronen, deren Spin nach oben oder nach unten zeigen kann, gemäß der Hundschen Regel. Mitte: Ein Eisenatoms (rote Spitze) und drei Eisen-Wasserstoff-Moleküle (gelbe Spitzen). Rechts: Der Wasserstoff des rechts unten liegenden Eisen-Wasserstoff-Moleküls wurde mit Hilfe der Spitze eines Rastertunnelmikroskops entfernt.

Neueröffnung der Nanotechnologie-Ausstellung & Nacht des Wissens



Abb. 8: Neueröffnung der Ausstellung

Die dienstälteste Nanotechnologie-Dauerausstellung in Deutschland befindet sich an der Universität Hamburg und ist im Jahr 2015 in einen neu errichteten Pavillon auf dem Gelände der Physikalischen Institute in der Jungiusstrasse umgezogen. Aus diesem Anlass wurde die Ausstellung „Nanotechnologie – Aufbruch in neue Welten“ neu konzipiert und im September 2015 feierlich neu eröffnet. Unter dem Motto: „Begeisternde Wissenschaft im Herzen der Stadt“ wurde für die Öffentlichkeit neben Ausstellungsführungen an beiden Tagen ein umfang-

reiches Vortragsprogramm angeboten und die über 200 Besucher konnten unterschiedliche Labore und Messräume besichtigen.

Im Rahmen der Nacht des Wissens öffneten am 7. November 2015 viele Hamburger Forschungseinrichtungen ihre Hörsäle und Labore. Im Fachbereich Physik der Universität Hamburg in der Jungiusstrasse wartete ein spannendes Vortragsprogramm zum Thema „Nanotechnologie für die Informations- und Kommunikationstechnik der Zukunft“ auf die über 550 Besucher. Neben Führungen durch die Nanotechnologie-Ausstellung,

konnten verschiedene Labore besichtigt werden. Highlight war die Live-Atommanipulation, bei der kreative Besucher mit Atomen zeichnen oder schreiben konnten.



Abb. 9: Nacht des Wissens 2015

Impressum

Herausgeber:

Sonderforschungsbereich 668
Universität Hamburg
Jungiusstr. 11A, 20355 Hamburg

Redaktion:

Dipl.-Chem. Heiko Fuchs
Prof. Dr. Roland Wiesendanger

Sprecher des SFB 668

Prof. Dr. Roland Wiesendanger
Universität Hamburg, FB Physik
Jungiusstr. 11A, 20355 Hamburg
Telefon: +49-40-42838 5244
Telefax: +49-40-42838 6188
E-Mail: wiesendanger@physnet.uni-hamburg.de

www.sfb668.de

Preise & Ehrungen für Wissenschaftler des SFB 668

Dr. Alexander Ako Khajetoorians erhielt den **Nicholas Kurti European Science Prize 2014** für seine wegweisende Arbeit bei der Erforschung neuer Spintronik-Bauteile aus einzelnen Atomen und für die Entwicklung von atomaren Ensembles mit maßgeschneiderten magnetischen Eigenschaften auf Basis spinabhängiger Phänomene.

Prof. Dr. Alexander Lichtenstein wurde für seine wichtigen wissenschaftlichen Beiträge zur Theorie des Magnetismus und der Elektronen-Korrelationen in Festkörpern mit dem **Max-Born-Preis 2014** des British Institute of Physics und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

ausgezeichnet.

Im November 2014 wurde **Prof. Dr. Roland Wiesendanger** mit der ersten **Heinrich Rohrer Grand Medal** auf dem 7. International Symposium on Surface Science (ISSS) in Shimane, Japan, ausgezeichnet und damit für die Entwicklung der spinauflösenden Rastertunnelmikroskopie geehrt.

Die Technische Universität Posen in Polen verlieh im Juni 2015 die **Ehrendoktorwürde** an **Prof. Dr. Roland Wiesendanger** für seine Pionierleistungen auf dem Gebiet der Nanowissenschaften und Nanotechnologie, insbesondere für die Entwicklung spinsensitiver Abbildungsverfahren mit atomarer Ortsauflösung sowie

die daraus hervorgegangenen fundamentalen Entdeckungen auf dem Gebiet des Nanomagnetismus und der Nanospintronik.

Prof. Dr. Alexander Lichtenstein wurde 2015 die **Ernst-Mach-Ehrenmedaille** der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik für seine herausragende Leistungen in der Physik verliehen.

Prof. Dr. Roland Wiesendanger erhielt den **Hamburger Wissenschaftspreis 2015**. Die Akademie der Wissenschaften in Hamburg zeichnete damit seine bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet des Nanomagnetismus aus.