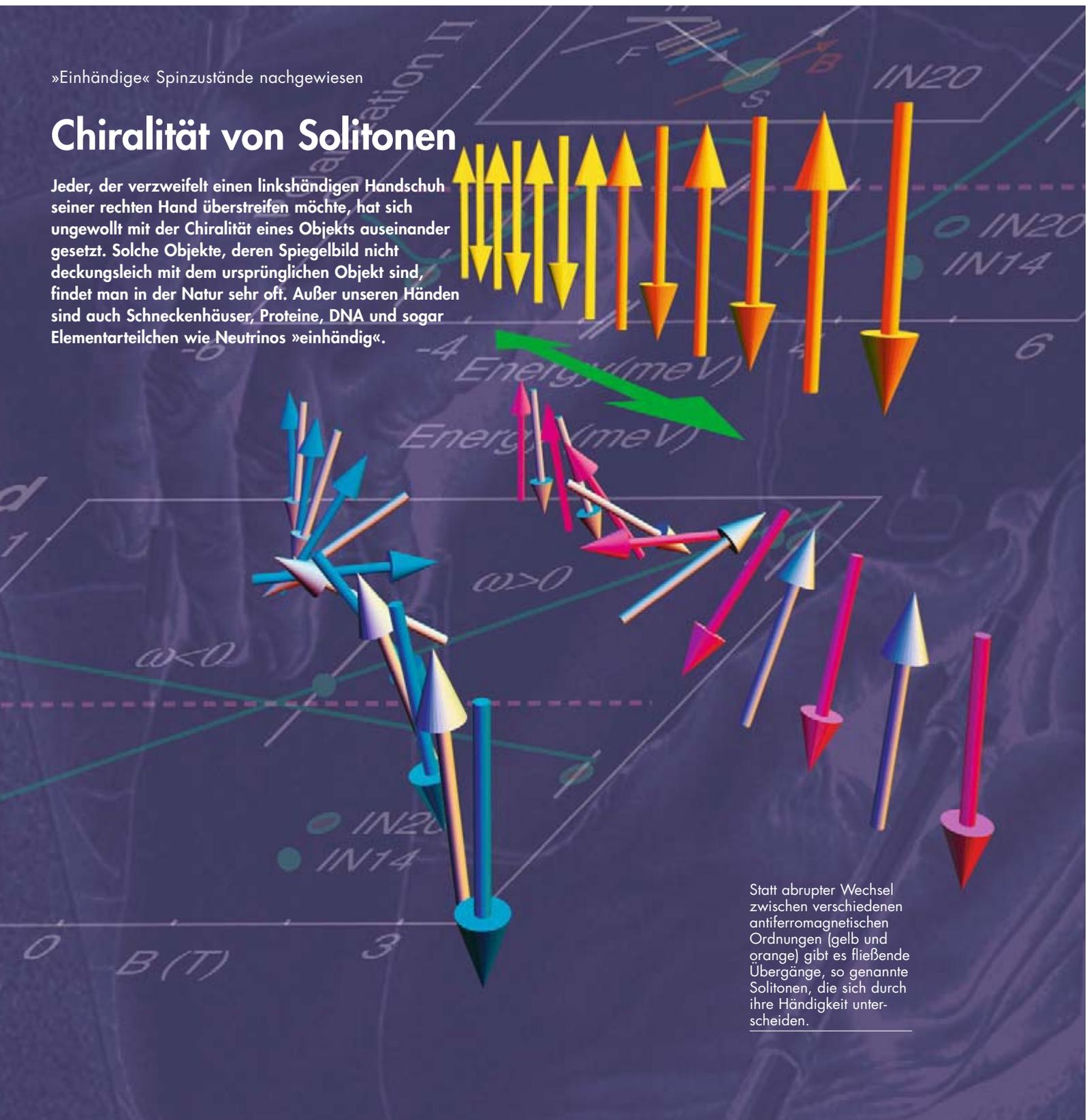


»Einhändige« Spinzustände nachgewiesen

Chiralität von Solitonen

Jeder, der verzweifelt einen linkshändigen Handschuh seiner rechten Hand überstreifen möchte, hat sich ungewollt mit der Chiralität eines Objekts auseinandergesetzt. Solche Objekte, deren Spiegelbild nicht deckungsleich mit dem ursprünglichen Objekt sind, findet man in der Natur sehr oft. Außer unseren Händen sind auch Schneckenhäuser, Proteine, DNA und sogar Elementarteilchen wie Neutrinos »einhändig«.



Statt abrupten Wechsel zwischen verschiedenen antiferromagnetischen Ordnungen (gelb und orange) gibt es fließende Übergänge, so genannte Solitonen, die sich durch ihre Händigkeit unterscheiden.

Auch Spinzustände können Achiral sein, und die Aufklärung solcher Phänomene hat wichtige Konsequenzen für das Verständnis von stark korrelierten Elektronensystemen und die Entwicklung spinbasierter Elektronik, so genannter Spintronik. Neues Licht auf diese Fragen geworfen haben Dr. Hans-Benjamin Braun von der ETH Zürich und UCD Dublin, Prof. Peter Böni, Ordinarius für Experimentalphysik III (E21) der TUM in Garching, und weitere Wissenschaftler. Sie studierten ein Modellsystem, in dem die Spins in einer Richtung stark gekoppelt sind und somit eine Spinkette bilden. Entlang der Kette zeigen benachbarte Spins in entgegengesetzte Richtungen und bilden eine so genannte antiferromagnetische Ordnung. In ähnlicher Weise, wie man ein Schachbrett auf zwei Arten einfärben kann, sind dabei zwei Zustände möglich, die durch eine Drehung der Spins um $+180$ oder -180 Grad auseinander hervorgehen. Die elementaren Anregungen zwischen den beiden Arten von antiferromagnetischer Ordnung sind dann »Domänenwände« oder »Solitonen«. Diese Anregungen unterscheiden sich drastisch von Anregungen in konventionellen Magneten.

Ähnlich einer Lösung, die links- und rechtshändige Moleküle in gleichen Massen enthält und deshalb optisch inaktiv ist, enthält der Quantenzustand der antiferromagnetischen Kette in gleichen Massen links- und rechtshändige Solitonen, die Chiralität ist quasi versteckt. Dennoch gelang es den Forschern, die Chiralität der Solitonen nachzuweisen: Sie legten ein Magnetfeld an, um das Gleichgewicht zwischen links- und rechtshändigen Solitonen zu stören, und streuten daran polarisierte Neutronen, die durch Zuführung von Energie die thermisch aktivierten Solitonen in einen höher angeregten Zu-

stand befördern. Die Abhängigkeit dieses Prozesses vom Spin der einfallenden Neutronen enthüllte die Chiralität der beteiligten Solitonen.

Die chirale Natur dieser Anregungen lässt sich durch die »Berry-Phase« erklären, eine überraschende Eigenschaft von Quantensystemen: Eigenartigerweise kehrt ein Elektron nach einer vollständigen Rotation nicht in seinen Ausgangszustand zurück, wie man es von einem klassischen Objekt erwarten würde, sondern benötigt zwei vollständige Umdrehungen, ähnlich wie die Autos, die zweimal um das Möbiusband herumfahren müssen, um wieder in der selben Orientierung am selben Ort anzukommen (s. Abb.). Da ein Soliton die Eigenschaft besitzt, die Spins um 180 Grad zu drehen, während es sich ausbreitet, resultieren verschiedene Zustände – je nachdem, ob die Spins im Uhrzeiger- oder Gegen Uhrzeigersinn gedreht werden. Dies ist bemerkenswert, da der antiferromagnetische Zustand, aus dem diese Anregung hervorgegangen ist, keinerlei Zeichen einer Chiralität zeigt.

Die Arbeit, die im Dezember 2005 in der Zeitschrift *Nature Physics* publiziert wurde (*), hat nicht nur demonstriert, wie man solche Zustände identifizieren kann, sondern hilft auch, den Schleier von stark korrelierten Elektronensystemen zu lüften. Schließlich ist die Chiralität der Solitonen ein Beispiel für einen Spinstrom, der ohne begleitenden Ladungsstrom fließt. Die Experimente stellen den ersten direkten Nachweis eines solchen Spinstroms in einem System stark korrelierter Elektronen dar.

Peter Böni

Prof. Peter Böni
Lehrstuhl für Experimentalphysik III
Tel.: 089/289-14711
peter.boeni@frm2.tum.de

Die Autos müssen zweimal auf dem Möbiusband herumfahren, um wieder am selben Ort des Bands anzukommen. Entsprechend muss auch der Quantenspin des Elektrons zweimal rotieren, bis er wieder in den Anfangszustand zurückkehrt. Dieser Effekt führt zu Chiralität in Quantenspin-systemen.

* *Nature Physics* 1, 159-163, 2005

