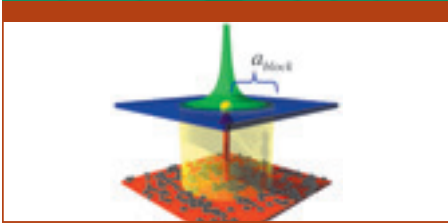
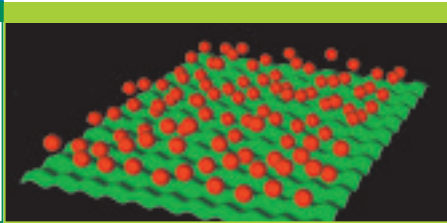
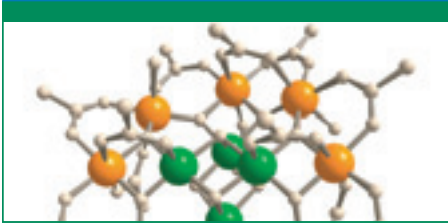
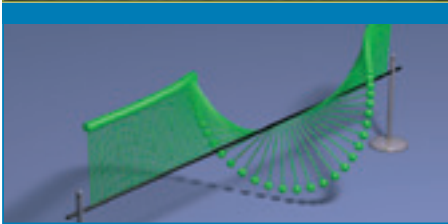
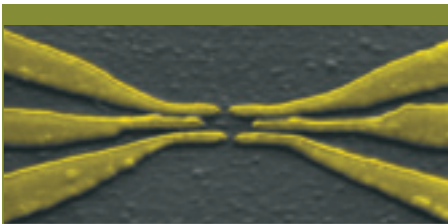


Quantenmaterie

Einleitung

Die überraschende Erkenntnis, dass Licht nicht nur Welleneigenschaften besitzt, sondern auch durch Lichtquanten beschrieben werden muss, ist vor über 100 Jahren von Max Planck vorgestellt worden. Die Idee des Welle-Teilchen Dualismus hat sich schnell auf alle Bereiche der mikroskopischen Physik ausgebreitet. Besonders die Erklärung der atomaren Struktur ist einer der großen Erfolge der frühen Quantenmechanik gewesen. Längst hat die Quantentheorie heute Einzug in unseren Alltag gehalten: Viele elektronische Bauelemente basieren auf ihren Prinzipien.



Die Interpretation der Quantenmechanik, in der es im Gegensatz zur klassischen Physik einen absoluten Zufall gibt, hat viele philosophische Diskussionen hervorgerufen. Trotz aller Kritiker, unter denen sich auch Albert Einstein fand, hat sich die Quantentheorie in allen Tests hervorragend bewährt. Im Gegensatz zu vielen anderen physikalischen Theorien hat sie nicht nur näherungsweise Gültigkeit, sondern ist z.B. in allen zugänglichen Energieberei-

chen von der kältesten bis zur heißesten Materie kurz nach dem Urknall, hervorragend getestet. Präzisionsspektroskopische Messungen machen heute die Quantentheorie zur am besten getesteten Theorie überhaupt.

Die Quantentheorie ist für einfache Probleme wie z.B. die Erklärung der Struktur des Wasserstoffatoms sehr gut geeignet und mit hoher Präzision lösbar. Sind jedoch viele Teilchen beteiligt, wird die Lösung

der quantenmechanischen Gleichungen ungleich schwerer. Auf der anderen Seite ergeben sich durch die Erhöhung der Komplexität ungeahnte Möglichkeiten: Die Eigenschaften von Eis sind nicht nur die Summe der Eigenschaften von Wassermolekülen, sondern auf vielfältige Art neuartig. Wenn man aus Atomen Materialien aufbaut, ist die Sache nicht anders. Ungeahnte Designmöglichkeiten schlummern in der Quantennatur der Materie. Quantenmaterialien sind also Materialien, die sich durch überraschende neue Eigenschaften auszeichnen, die man von ihren atomaren Bauelementen noch nicht kennt. Bekannte Beispiele für ein unerwartetes kollektives Quantenphänomen sind die Supraleitung und der Quanten-Hall-Effekt. Beide Phänomene sind heute noch immer nicht in allen Details verstanden und daher Gegenstand aktueller Grundlagenforschung.

Wenn man den Bauplan solcher Phänomene verstehen und sich auf die Suche nach neuartigen heute noch unbekanntem Quanteneigenschaften der Materie begeben möchte, dann ist man gut beraten, Bausteine zu verwenden, die einzeln gut kontrollierbar sind. Die Komplexität lässt sich kontrolliert steigern, wenn die Bausteine zunächst zu einfachen Molekülen und dann schrittweise zu Materialien mit völlig neuen Eigenschaften zusammengesetzt werden. Die Wechselwirkung zwischen den Bausteinen wird dabei systematisch kontrolliert. Dies ist in kurzen Worten die Mission des Transregio-Sonderforschungsbereichs der Deutschen Forschungsgemeinschaft, an der in Stuttgart,

Ulm und Tübingen gearbeitet wird. Als Bausteine kommen einzelne Elektronen, Atome oder Ionen in Frage. Es eignen sich aber auch Makromoleküle, Quantenpunkte oder sogar Quantenwirbel in einem Supraleiter. Jeder dieser Bausteine hat sein spezifisches Zukunftspotential, da sie alle sehr gut verstanden und in ihren internen Freiheitsgraden sowie ihrer Wechselwirkung mit ihrer Umgebung sehr gut steuerbar sind.

Wie kann man Quantenmaterie verstehen oder in ihren Eigenschaften simulieren? Selbst die größten Rechenzentren der Welt stoßen hier an Grenzen, da die Komplexität exponentiell mit der Zahl der Bausteine steigt. Die Lösung liegt in der Quantenmechanik selbst. Nur Quantencomputer, in denen die Komplexität der Quantentheorie abgebildet werden kann, sind in der Lage Quantenmaterie aus sehr vielen Bausteinen zu simulieren. Die Entwicklung von Quantenmaterialien und Quantencomputern gehen daher Hand in Hand. Beide stehen erst am Anfang der Entwicklung und versprechen spannende Jahrzehnte aufregender Grundlagenforschung. In diesem Heft werden einige Akteure vorgestellt, die am Max-Planck Institut für Festkörperforschung und an den Universitäten Stuttgart, Ulm und Tübingen an diesen Forschungsthemen arbeiten. Erste überraschende Ergebnisse liegen vor, viele weitere sind in der Zukunft noch zu erwarten.

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Reise in das Land der Quantenmaterialien. •

Klaus von Klitzing

DER AUTOR

PROF. DR. KLAUS VON KLITZING

studierte Physik an der Technischen Universität Braunschweig und promovierte an der Universität Würzburg. Nach Auslandsaufenthalten in England und Frankreich und Habilitation in Würzburg erhielt er einen Ruf an die Technische Universität München. 1985 wurde ihm der Nobelpreis in Physik verliehen. Seit 1985 ist er Direktor am Max-Planck-Institut in Stuttgart und Honorarprofessor an der Universität Stuttgart.

Kontakt

*Prof. Dr. Klaus von Klitzing, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung
Heisenbergstraße 1, 70569 Stuttgart
Tel.: 0711/689-1570, Fax: 0711/689-1572
E-Mail: K.Klitzing@fkf.mpg.de, Internet: www.mpi-stuttgart.mpg.de*

