

# Aufbruch in die Zwischenwelt

Wenn Experimentalphysiker auf theoretische Physiker treffen, sich der Nanophysiker mit dem Quantenoptiker, der Festkörperphysiker mit dem Quanteninformatiker unterhalten will, dann müssen schnell einmal Tafel und Kreide her – zu babylonisch ist ihnen das Sprachgewirr der Begrifflichkeiten; erst die Formel an der Wand sorgt für Eindeutigkeit: „Die Qualität eines Resonators heißt zum Beispiel bei uns in der Halbleiterphysik Gütefaktor oder quality factor“, sagt Reinhold Kleiner, „bei den Optikern hingegen finess.“ An diesem Freitag fand das Kolloquium des SFB/TRR 21 – TRR steht für Transregio – in Tübingen statt, und Reinhold Kleiner, einer der stellvertretenden Sprecher und Festkörperforscher an der Universität Tübingen, war diesmal wieder Gastgeber der Runde von rund zwei Dutzend Köpfen.

Man trifft sich im zweiwöchigen Rhythmus reihum, denn am Transregio-SFB sind auch Physiker der Universitäten Ulm und Stuttgart sowie des Stuttgarter Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung beteiligt. Mitte 2005 haben sich die Forscher gemeinsam auf den Weg gemacht, Quantenmaterie zu kontrollieren. Zudem trug sie die Hoffnung, neue Zustände der Materie zu entdecken, die sie irgendwo in der Zwischenwelt von mesoskopischen Systemen – dem Arbeitsbereich der Festkörperphysik – und Quantengasen – dem Forschungsfeld der Quantenphysiker – vermuteten. Letzteres Thema erfuhr einen grandiosen Aufschwung, seit es 1995 erstmals gelang, in der Nähe des absoluten Nullpunkts die so genannte „Bose-Einstein-Kondensation“ von ultrakalten atomaren Gasen zu realisieren. 2001 bekamen dafür die Amerikaner Eric Cornell und Carl

Wieman sowie der in den USA forschende Deutsche Wolfgang Ketterle den Physik-Nobelpreis.

„Wir waren in Europa 1997 die Ersten, die Bose-Einstein-Kondensate hergestellt haben“, sagt Wolfgang Peter Schleich, Quantenphysiker an der Universität Ulm. Wir, damit meint er die seinerzeit von der DFG geförderte Forschergruppe, die sich schon Mitte der 90er Jahre zu gemeinsamer Arbeit zusammenfand und deren Initiative letztlich in die Beantragung des SFB/TRR 21 mündete.

Tatsächlich favorisiert eine Initiative häufig die transregionale Form eines SFB, wenn sie die notwendige Expertise für das gewählte Forschungsgebiet nicht an einer Universität allein, sondern nur in Kooperation mit anderen Hochschulen findet. Gleichzeitig ist die

Messlatte, die bei Transregios an die Wahl der Partner und die wissenschaftliche Quali-

---

*„Wir schlagen die Brücke zwischen Atom- und Festkörperphysik“*

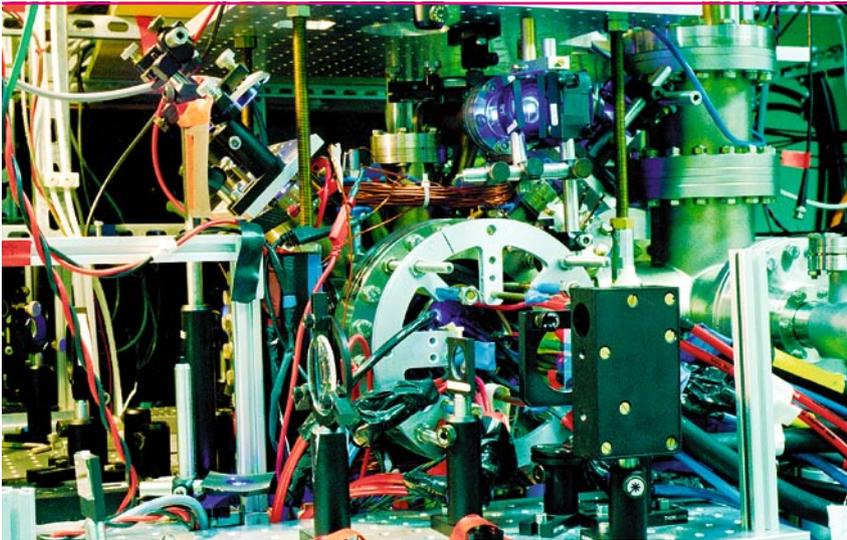
---

tät gelegt wird, besonders hoch; bei der Begutachtung gelten sehr scharfe Kriterien: Die Arbeitspakete, die von den verschiedenen Universitäten eingebracht werden, sollten sich optimal ergänzen, und es sollten sich nur die Besten der Besten unter den Wissenschaftlern verbunden haben. Zudem muss an jeder Hochschule die Schwerpunktbildung zur Thematik des SFB/TRR gewährleistet sein.

Eine wichtige Triebfeder im Gründungsprozess des SFB/TRR 21 war von Anbeginn an Tilman Pfau, der 2000 von der Universität Konstanz in die Leitung des 5. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart wechselte. Pfau ist Sprecher des SFB/TRR 21. „In der damaligen Forschergruppe „Quantengase“ hatten wir allerdings nur ein Teilgebiet des heutigen Sonderforschungsbereichs im Blick“, sagt er, „nämlich die Physik der kalten Atome.“

Tilman Pfau befasst sich auch im SFB/TRR 21 mit den Bose-Einstein-Kondensaten. Weltweit erstmals ist es seiner Arbeitsgruppe an der Universität Stuttgart im letzten Jahr gelungen, bei 700 Nanokelvin Chrom-Gas zu kondensieren – aus mehr als 50 000 Chrom-Atomen, aus denen inzwischen schon 100 000 wurden. Wenn auch Albert Einstein den Phasenübergang von „normaler“ Materie zum Bose-Einstein-Kondensat schon 1925 vorausgesagt hatte, musste die experimentelle Darstellung noch viele Jahrzehnte auf sich warten lassen. Erst mit der Laserkühlung (dafür wurde der Nobelpreis 1997 verliehen) gelang es, Atome in der Gasphase auf etwa 10 bis 100 Mikrokelvin abzukühlen. Auf diesem Niveau schon ziemlich bewegungslos – die Geschwindigkeit der Atome in der Gaswolke beträgt nur noch einige Zentimeter pro Sekunde – können die Physiker sie trickreich mit magnetischen oder optischen Fallen einzeln einsammeln und mittels einer so genannten Verdampfungskühlung auf wenige 100 Nanokelvin weiter herunterkühlen.

Dann, ganz nahe am absoluten Nullpunkt, passiert es: Die Atome verlieren ihre Eigenständigkeit und verhalten sich wie ein einziges quantenmechanisches Objekt. Ihr klassischer Charakter, nämlich einzelne, unterscheidbare Teilchen zu sein, schlägt urplötzlich in einen neuen Aggregatzustand kollektiven quantenmechanischen Wellenverhaltens um: Im Bose-Einstein-Kondensat werden die Atome ununterscheidbar. Charakteristisch ist die Kohärenz des Wellenverhaltens, also die einheitliche Wellenlänge über die gesamte Ausdehnung des Kondensats hinweg, verbunden mit der Ausbildung völlig neuer Materialeigenschaften. Schon seit längerem vermuteten die Physiker, dass dieser fundamentale Unterschied zu „normaler“ Materie die Grundlage für makroskopische Quanten-



Versuchsaufbau am 5. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart, mit dem es der Gruppe von Tilman Pfau gelingt, rund 100.000 Chrom-Atome in ein Bose-Einstein-Kondensat zu überführen. Rechts oben im Bild ist zu sehen, wie der Laserstrahl zur Kühlung in die Vakuumkammer eingespiegelt wird.

phänomene wie Supraleitung oder Superfluidität sei. „Unsere Bose-Einstein-Kondensate aus Chrom-Atomen zeigten zum Beispiel ferromagnetische Eigenschaften“, berichtet Pfau und deutet an, dass Chrom-Kondensate vielleicht einmal in der Nanotechnologie als Quelle so genannter Atom-Laser dienen könnten, um einzelne Atome mit hoher Auflösung auf Oberflächen zu deponieren.

Ultrakalte Atome, Quantengase, Bose-Einstein-Kondensate – das ist der eine Ausgangspunkt von insgesamt 14 Teilprojekten im SFB/TRR 21. „Wir nähern uns hier sozusagen der gemeinsamen Mitte einer Brücke, die wir Atomphysiker zu den Festkörperphysikern schlagen und umgekehrt“, sagt Tilman Pfau. Denn als man erst einmal miteinander ins Gespräch gekommen war, wurde schnell deutlich, dass „die Physik der Atome und der ebenfalls von Quanteneffekten beherrschten mesoskopischen Systeme mit Objektgrößen von 10 bis 100 Nanometern ziemlich ähnlich ist“.

Gemeinsames Ziel der unterschiedlichen Physik-Disziplinen im SFB/TRR 21 ist es nun, die teilweise komplementären Kontrollmöglichkeiten einzusetzen, um Vielteilchenquantenkorrelationen gezielt zu steuern und die Gemeinsamkeiten von mesoskopischen Systemen und Quantengasen dazu zu nutzen, neue Zustände der Materie zu entdecken, neue dynamische Quantenzustände zu erzeugen, das Verständnis des Skalierungsverhaltens von wenigen zu vielen gekoppelten Systemen zu

entwickeln, Dekohärenzeffekte zu manipulieren und zu untersuchen sowie Licht-Materie-Zustände zu kontrollieren.

Tatsächlich ist es in den letzten Jahren vielfach schon gelungen, Quantengase als wechselwirkende Quantenmaterie in sehr gut definierten Geometrien und bei ultrakalten Temperaturen zu kontrollieren. „Auch können wir mit unserem Superrechner an der Universität Stuttgart das Zusammenwirken der Teilchen simulieren“, sagt Alejandro Muramatsu von der Universität Stuttgart, ebenfalls stellvertretender Sprecher des SFB/TRR 21. Allerdings zeigt Muramatsu auch die Grenzen der theoretisch-virtuellen Analyse von Quantenmaterie auf: „Unser Rechner war vor einem Jahr, als er installiert wurde, der schnellste Rechner Deutschlands und in seiner Eigenschaft als Vektorrechner schnellster Supercomputer Europas – aber er schafft es nur, das Verhalten von 36 Teilchen abzubilden.“

Die SFB/TRR-Forscher sind sicher, dass es ihnen mit den Techniken und Verfahrensweisen aus der Festkörperphysik gelingen wird, Quantenmaterie wie in einem Legosystem zusammensetzen zu können. „Ich bin schon sehr gespannt, wie sich dann das experimentelle Ergebnis mit dem errechneten zur Deckung wird bringen lassen“, sagt Wolfgang Peter Schleich: „Wie wird sich das bei 30 Teilchen darstellen, stimmen Experiment und Rechnung bei 35 Teilchen überein? Und dann träume ich natürlich von experi-

mentellem Neuland: 40 Teilchen, 50 Teilchen, 100 gar.“

Der Optimismus, bald im „Niemandland“ zwischen Mikro- und Mesokosmos fündig zu werden und Neues zu entdecken, schöpft sich aus der Erkenntnis, „dass wir nach unseren ersten Gesprächen über die innerwissenschaftliche Kulturgrenze hinweg schnell merkten, dass wir das Rüstzeug dafür schon längst in Händen hielten“, sagt Reinhold Kleiner, „das festzustellen, hat uns etwas Zeit gekostet, aber dann natürlich elektrisiert.“ „Es ist ja so, dass jede Community eine bestimmte Geschichte hat und im Laufe der Zeit ein gemeinsames Verständnis der zugrundeliegenden Physik entwickelt“, erläutert Pfau, „wenn wir nun zusammen lernen, wie der jeweils andere die Dinge versteht, dann profitieren wir alle – und das ist ein Mehrwert, der in diesem transregionalen Sonderforschungsbereich entstehen wird.“ „Und es geht ja nicht nur ums gegenseitige Verstehen – auch unsere Techniken sind unterschiedlich, jede Community hat ihre Verfahren“, fügt Kleiner hinzu.

Tilman Pfau hat zusammen mit seinen Kollegen daraus den Schluss gezogen, innerhalb des SFB/TRR 21 keine Mühen zu scheuen, hier für eine neue Verständigungsbasis innerhalb der Physik zu sorgen. So sind zum Beispiel die Doktoranden in den Projekten dazu verpflichtet, jeweils für mindestens eine Woche in ein Projekt der anderen Community zu gehen, dort mitzuarbeiten, andere Denkweisen und Techniken kennen zu lernen und schließlich hierüber einen Vortrag zu halten. „Wir erhoffen uns, dass auch auf der Ebene der Doktoranden dieser euphorisierende Prozess stattfindet, den wir in der Runde der Teilprojektleiter durchlaufen“, sagt Pfau. *Dieter Beste*