

Tritiumanteil. Zwischen den Pulsen des Neutronengenerators fanden sie auch Neutronen, die sie der Fusionsreaktion von Deuteriumkernen zuschreiben. Sie erklären das mit einer ungewöhnlich starken Kompression der Gasblasen um den Faktor 10^5 , die bei adiabatischen Verhältnissen in der Tat zu den benötigten Temperaturen führen könnte. Allerdings liegt hier auch einer der Haken: Dieser Kompressionsfaktor wurde nicht experimentell verifiziert, sondern nur in einem eindimensionalen Modell errechnet, wobei ein willkürlicher, – nach Aussagen von D. Lohse, einem anerkannten Experten auf dem Gebiet der Sonoluminiscenz –



Sonoluminiscenz-Apparatur an der Universität Twente. An den Seiten des Glaskolbens erkennt man die Ankopplungselemente für das Ultraschallfeld, in der Mitte des Kolbens das Leuchten der Gasblasen. (Foto: D. Lohse)

unrealistisch hoher Antriebsdruck angesetzt wurde. Zudem verlief bei einer derart starken Kompression dieser Vorgang am Ende nicht mehr adiabatisch, d. h. ein großer Teil der Energie ginge in Rotation, Vibration, Ionisation etc. und nicht in eine Temperaturerhöhung. Dies und auch die Frage möglicher Instabilitäten während der Kompression wird von den Autoren völlig außer Acht gelassen. Stattdessen konzentrieren sie sich auf den Nachweis der Produkte der Fusionsreaktionen. Bei der Fusion zweier Deuteriumkerne gibt es zwei – fast gleich wahrscheinliche – Reaktionspfade: Einmal entsteht ein Tritiumkern mit 1 MeV und ein Proton mit 3 MeV, im anderen Pfad ein ^3He -Kern mit 0,82 MeV und ein Neutron mit 2,45 MeV. Die Entstehung von Tritium haben die Autoren nachweisen können, wobei der Effekt sehr gering ist und kaum außerhalb der Fehlerbalken liegt. Empfindlicher sollte der Nachweis der 2,45 MeV-Neutronen möglich sein, aber hier ist das Problem unter anderem in der Anregung der Blasen durch Neutronen aus einem Beschleuniger,

der aus der Deuterium-Tritium-Reaktion Neutronen mit einer Energie von 14 MeV erzeugt. Diese Neutronen müssen bei der Messung natürlich durch eine exakte Koinzidenz-Messung ausgeblendet werden.

Und exakt hier liegt ein weiteres Problem der Veröffentlichung, welches die ganze Angelegenheit kurios erscheinen lässt: Im Frühsommer 2001 hatte das Oak Ridge National Laboratory der Veröffentlichung des fraglichen Papiers zugestimmt. Bei Nature wurde das Manuskript aber abgelehnt. Parallel bemühte sich eine zweite Gruppe in Oak Ridge, an dem Experiment die Neutronen nachzuweisen, ohne Erfolg [3]. Den Schlussfolgerungen dieses Berichtes widersprechen aber Taleyarkhan und Koautoren in einem weiteren, nur im Internet verfügbaren Bericht [4], aber trotzdem kamen dem Management von Oak Ridge offensichtlich Zweifel an der Arbeit, und sie bemühten sich bei Science, wo der Artikel inzwischen eingereicht worden war, eine Veröffentlichung zu verzögern, um die Diskrepanzen zwischenzeitlich klären zu können.

Vergeblich, Science entschloss sich, das Papier zu veröffentlichen und zwar, wie oben angedeutet, mit nicht geringem Getöse: Nach den angesprochenen „Vorveröffentlichungen“ enthielt die Ausgabe vom 8. März nicht nur die eigentliche Veröffentlichung, sondern noch einen „Perspektivenbericht“, eine „News“-Notiz und natürlich begründete das Editorial ausführlich, warum – und mit welchen Bauchschmerzen – man sich zur Veröffentlichung durchgerungen habe. Von einem – notgedrungen akzeptierten – Public Relations-Effekt war hierin nicht die Rede, aber er war unverkennbar.

Die durch die Vorankündigungen aufgebaute Spannung führte allein in Deutschland dazu, dass fast jede größere Zeitung über Science und die sensationellen Ergebnisse berichtete. Allerdings sorgten die vorwiegend kritischen Äußerungen der befragten Sonoluminiscenz- und Fusionsexperten – und vielleicht auch die Erinnerung an das Desaster mit der „kalten Fusion“ – für ein schnelles Einschlafen des Trubels. Es bleibt damit – zumal das Experiment in der beschriebenen Form doch sehr aufwändig ist – vorläufig nur eine Liste mit Hausaufgaben: Taleyarkhan und seine Koautoren

müssen zunächst einmal die behaupteten Parameter ihrer Kavitationsblasen experimentell verifizieren, und gemeinsam mit den Kollegen in Oak Ridge die Neutronenmessungen klären. Anders als 1989 bei den Experimenten von M. Fleischmann und S. Pons lässt sich das Experiment nämlich nicht in jeder besseren Küche wiederholen. Ein Neutronengenerator, wie er nach Aussage der Autoren für die Erzeugung der besonders hoch komprimierbaren Blasen benötigt wird, steht nur in den allerwenigsten Labors zur Verfügung, sodass eine genaue Wiederholung der Experimente sehr schwierig sein wird. Dadurch können in diesem Fall wohl nur die Autoren selbst die Widersprüche klären und die von außen gestellten Fragen beantworten.

HANS-STEPHAN BOSCH

- [1] R. P. Taleyarkhan et al., *Science* **295** (2002) 1868
- [2] M. P. Brenner et al., *Rev. Mod. Phys.* **74** April 2002
- [3] D. Shapira, M. J. Saltmarsh (2002) <http://www.ornl.gov/slsite>
- [4] R. P. Taleyarkhan et al. (2002) <http://www.rpi.edu/~laheyr/SciencePaper.pdf>

Laserwellen im Ionenteich

Mithilfe von Lasern lassen sich in Ionenkristallen Wellen erzeugen. Ähnlich der Heckwelle eines Schiffs entstehen charakteristische Muster.

Das einprägsame Muster von Heckwellen fahrender Schiffe hat wohl jeder schon einmal bewundert und sicherlich auch den Machkegel eines Flugzeugs als Überschallknall erfahren. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts konnte Lord Kelvin die Wellenstruktur im Kielwasser eines Schiffes durch die Kombination von Wellendispersion und Interferenzeffekten erklären. Das bewegte Objekt (Schiff, Flugzeug) regt ein ganzes Spektrum von Wellenzügen an, das aufgrund der Bewegung des Objekts von einem zeitlichen Vorgang in ein räumliches Muster übersetzt wird. Das entstehende Wellenmuster spiegelt somit die Wellendispersion wider: Die komplizierte Struktur der Schiffswelle resultiert aus der stark nichtlinearen Dispersion von Wasserwellen, der einfache Machkegel des Überschallknalls hat seine Ursache in der linearen Dispersion von akustischen Wellen in Luft.

Dr. Hans-Stephan Bosch, MPI für Plasmaphysik, 85748 Garching

Neben diesen eher alltäglichen Systemen bieten sich für Untersuchungen derartiger Wellenphänomene besonders Coulomb-Kristalle und Coulomb-Flüssigkeiten wegen ihrer wohldefinierten Eigenschaften an. Diese Systeme bestehen typischerweise aus gleichnamig geladenen, gefangenen Partikeln, die geordnete kristallartige oder flüssigkeitsartige Strukturen annehmen, wenn die gegenseitige elektrostatische Wechselwirkung ihre thermische Energie deutlich überwiegt. Solche Systeme lassen sich realisieren, indem man hochgeladene Plastikpartikel in wässrigen Lösungen (kolloidale Suspensionen [1]) oder in einer Plasmaumgebung (komplexe Plasmen [2]) einfängt. Umgekehrt kann man in Ionenfallen z. B. niedriggeladene Ionen durch Abkühlung auf ca. 1 mK kristallisieren lassen [3].

Laser eignen sich ganz besonders zur gezielten Anregung von Wellen in Coulomb-Systemen. So wurde z. B. in Plasmakristallen mit einem bewegten fokussierten Laserstrahl ein Heckwellenmuster mit Machkegel und ausgeprägten Feinstrukturen erzeugt, das eine tiefgehende Bestimmung der Dispersion und damit der Teilchenwechselwirkung ermöglichte [4].

Nun hat die Gruppe um John Bollinger am National Institute of Standards and Technology (NIST) in Boulder Experimente zu Wellen im Kielwasser eines Lasers erstmalig in Ionenkristallen vorgestellt [5]. Dazu wurden 15 000 bis 45 000 Beryllium-Ionen in einer zylindrischen Falle, der so genannten Penning-Malmberg-Falle, eingefangen. Der Einfang geschieht hierbei durch eine Kombination elektrostatischer und magnetischer Felder. Die Wolke der gefangenen Ionen hat eine elliptische Gestalt von etwa 1 mm Durchmesser und rotiert um die Zylinderachse. Mit der Rotationsfrequenz, die von außen vorgegeben werden kann (sie liegt hier zwischen etwa 40 und 120 kHz), wird auch die Form der Wolke zwischen einer flachen Scheibe und einer Kugel variiert (Aspektverhältnis Höhe zu Breite zwischen 0,005 und 1). Die Ionen werden mit Hilfe gängiger Laserkühlverfahren auf unter 5 mK abgekühlt. Der Hauptkühlstrahl läuft dabei entlang der Zylinderachse, ein zweiter senkrecht dazu von der Seite.

Ein weiterer Laserstrahl, der Manipulationslaser, wird entlang der

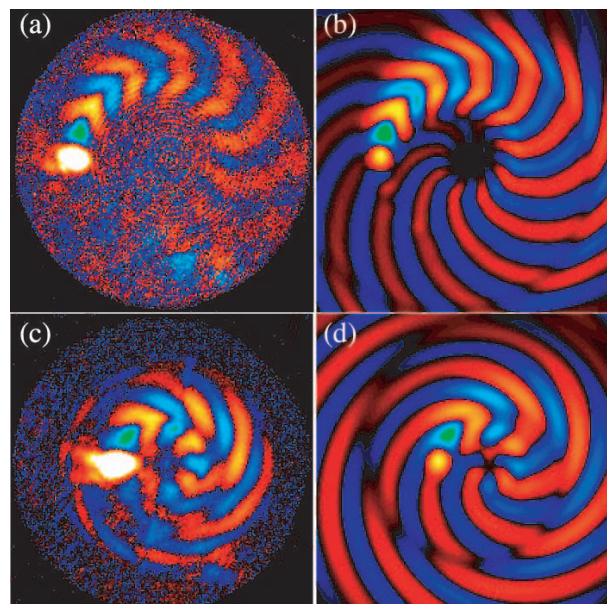
Zylinderachse mit leichtem radialem Versatz in die Ionenwolke fokussiert. Der Laserstrahl ist stationär und der Ionenkristall rotiert unter dem Laser hinweg, sodass auch hier ein räumliches Wellenfeld entstehen kann. Der Manipulationslaser lenkt die Ionen durch seinen Strahlungsdruck in vertikaler Richtung aus und regt damit Wellen in dem Ionenkristall an. Das entstehende Wellenmuster ist auch hier durch die Kombination von Dispersion und Interferenz gegeben.

Sichtbar gemacht wird das Heckwellenmuster durch das Fluoreszenzlicht der Ionen aufgrund des axialen Kühllasers. Da der Kühllaser leicht gegen den Resonanzübergang der Beryllium-Ionen verstimmt ist, „sehen“ Ionen, die sich auf den Laser zubewegen, Laserlicht, das aufgrund der Dopplerverschiebung zur Resonanz hin verschoben ist: das Fluoreszenzsignal wird stärker. Umgekehrt verhält es sich mit Ionen, die sich in Richtung des Kühllaserstrahls bewegen. Damit ist die Stärke des Fluoreszenzsignals ein Maß für die Vertikalgeschwindigkeit der Ionen. Im Laborsystem ist das Heckwellenfeld des Manipulationslasers stationär und kann daher durch Langzeitbeobachtung des Fluoreszenzlichts (30 bis 120 s) deutlich sichtbar gemacht werden.

Die Autoren finden ein ausgeprägtes Wellenmuster hinter dem anregenden Laser (Abb.). Im Kielwasser des Lasers bilden sich klar zu erkennende leicht bogenförmige Transversalstrukturen aus, d. h. die Wellenfronten sind etwa senkrecht zur Bewegungsrichtung der Welle. Genauso sind auch feine Lateralstrukturen zu sehen (Wellenfronten parallel zur Bewegungsrichtung). Die Ergebnisse sind besonders überzeugend durch die sehr gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Strukturen. Die Simulation beruht hierbei auf der Ausbreitung von Wellen in einer rotierenden Ionenflüssigkeit. Offensichtlich spielen Effekte der starken Kopplung, die die (Nah-) Ordnung im Kristall bestimmen, bei den hier dominanten langwelligen Strukturen keine entscheidende Rolle.

Der Fortschritt dieser Untersuchungen liegt darin, dass hier erstmals Wellen lokal in der Ionenwolke angeregt werden konnten, wo bisher nur globale Moden der Ionenwolke dem Experiment zugäng-

lich waren. Dadurch lassen sich nun auch Informationen über die lokale Stärke der Kopplung der Ionen gewinnen, wenn es noch gelänge, mit dieser Methode Wellen anzuregen, deren Wellenlänge von der Größenordnung des Abstandes der Ionen zueinander (ungefähr 10 μm) ist.



In zukünftigen Experimenten, so die Autoren, sollten mit einem leicht modifizierten Aufbau Schermoden anzuregen sein, die eine präzise Messung und anschließend Kontrolle der Ionenrotation erlauben, die wiederum für eine mögliche Anwendung bei Quantencomputern eine entscheidende Voraussetzung darstellen.

Es scheint daher offensichtlich, dass von weiteren Experimenten zur Lasermanipulation in Coulomb-Systemen, seien es Ionenkristalle, komplexe Plasmen oder kolloidale Suspensionen, interessante Fortschritte zu erwarten sind.

ANDRE MELZER

- [1] C. Bechinger, Phys. Bl., Juli/August 2000, S. 75.
- [2] A. Homann, A. Melzer und A. Piel, Phys. Bl., Dezember 1996, S. 1227.
- [3] F. Diedrich et al., Phys. Rev. Lett. **59** 2931 (1987); D. J. Wineland et al., Phys. Rev. Lett. **59**, 2935 (1987).
- [4] A. Melzer et al., Phys. Rev. E **62**, 4162 (2000).
- [5] J. M. Kiesel, J. J. Bollinger, T. B. Mitchell, L. B. King und D. H. E. Dubin, Phys. Rev. Lett. **88**, 125003 (2002).

Das Heckwellenmuster des Lasers im Ionenkristall hängt von der Rotationsgeschwindigkeit und damit von der Form der Ionenwolke ab: Aspektverhältnis Höhe zu Breite 0,042 (a) und 0,25 (c) sowie die zugehörigen Simulationen (b, d). Die Farbe zeigt die Vertikalgeschwindigkeit der Ionen an; rot/gelb: Bewegung in Richtung des Manipulationslaserstrahls, blau/grün: Bewegung in entgegengesetzter Richtung, dunkle Bereiche: Vertikalgeschwindigkeit gleich Null. (Quelle: [5])

Priv.-Doz. Dr. Andre Melzer, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität Kiel, 24098 Kiel