

sich sehr wahrscheinlich dabei um ein einzelnes Molekül handelt. Gewissheit darüber wird man jedoch erst erhalten, wenn die Details der Kennlinien quantitativ verstanden sind und mit der elektronischen Struktur der Moleküle erklärbar sind. Hierzu sind detaillierte quantenchemische Rechnungen nötig, die sowohl die Struktur der Moleküle als auch die Elektroden und deren chemische Ankopplung korrekt beschreiben. Die hier verwendeten Moleküle sind jedoch noch überschaubar genug, um quantitative theoretische Vorhersagen möglich zu machen. Daher besteht die Hoffnung, die komplexe Struktur der Kennlinien in absehbarer Zukunft zu verstehen und Vorhersagen für weitere Moleküle machen zu können.

Ohne begleitende Rechnungen scheint es aussichtslos, allein durch systematische Experimente die Molekülklasse zu finden, die die oben genannten Anforderungen an eine zukünftige Nanoelektronik erfüllt. Zu groß ist die Anzahl der bereits diskutierten Systeme, zu umfangreich die Parameterräume, zu langwierig jedes einzelne Experiment.

Ein wichtiger Schritt besteht darin, zunächst die „Drosophila“ der molekularen Elektronik zu finden, also ein System aus Elektrodenmaterial und Molekül, das man quantitativ versteht, auch wenn es noch nicht alle Möglichkeiten der Anwendung eröffnet. Wenn dies gelungen ist, kann man gezielt nach einer geeigneten Molekülklasse suchen.

Ob die zukünftige Elektronik eine molekulare sein wird, und falls ja, welche Substanzklasse sich schließlich durchsetzen wird, hängt nicht zuletzt davon ab, was wirtschaftlich rentabel ist. Das lässt sich an der hartnäckigen Dominanz siliziumbasierter Schaltkreise erkennen, die längst nicht mehr die schnellsten, kleinsten, besten sind. Hierzu ist intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit erforderlich, wie sie im Experiment von Reichert et al. beispielhaft geleistet wurde.

ELKE SCHEER

- [1] J. Reichert et al., Phys. Rev. Lett. **88**, 176804 (2002)
- [2] M. A. Reed et al., Science **278**, 252 (1997); C. Kergueris et al., Phys. Rev. B **59**, 12505 (1999)
- [3] J. Reichert, persönliche Mitteilung
- [4] E. G. Emberly und G. Kirczenow, Phys. Rev. B **64**, 235412 (2001), J. Heurich et al., cond-mat/0110147

## Alles Blasen, oder was?

### *Kernfusion aus akustischer Kavitation?*

Anfang März kündigte sich mal wieder Revolutionäres an. Zunächst gab es nur Vorinformationen auf der Internetseite von Science mit Hinweisen auf eine Veröffentlichung am 8. März, dann aber standen bereits eine Woche davor Vorabdrucke mehrerer Artikel aus diesem Heft im Internet: Kernfusion sollte ohne die aufwändigen Apparaturen der Plasmaphysiker gelungen sein! Diesmal allerdings nicht in einer Elektrolysezelle wie 1989 bei der „Kalten Fusion“, sondern in Gasblasen, die durch akustische Wellen angeregt werden [1].

Dass in Flüssigkeiten Gasblasen entstehen können, ist als Kavitation bekannt und wurde seit den dreißiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts insbesondere im Zusammenhang mit den Vorgängen an Schiffspropellern untersucht. Dabei beobachtete man bereits, dass diese Blasen durch Schallwellen angeregt werden können und bei ihrer dynamischen Ausdehnung bzw. beim Kollaps sogar leuchten (Sonolumineszenz). Inzwischen ist der Mechanismus dieses Phänomens geklärt [2]: Die Blase wird beim Kollaps adiabatisch komprimiert und erhitzt sich dadurch auf hohe Temperaturen im Bereich einiger 10 000 K, womit die Anregung der Atome oder Moleküle in der Gasblase möglich wird. Um allerdings Fusionsreaktionen zu erzeugen, sind wesentlich höhere Temperaturen im Bereich einiger 100 Millionen K notwendig, und solche Werte wurden in bisherigen Experimenten zur Sonolumineszenz nie beobachtet. Alle konsistenten Modelle ergeben Temperaturen bis zu etwa 15000 K (d. h. 1,4 eV).

Nun aber kam die Veröffentlichung aus dem Oak Ridge National Laboratory in Tennessee: In einem Becherglas mit Azeton, in dem der Wasserstoff durch das schwerere Deuterium ersetzt wurde, wurden durch die Einstrahlung von Neutronen hoher Energie (14-MeV-Neutronen aus der Deuterium-Tritium-Reaktion) Gasblasen erzeugt, die einem Ultraschallfeld ausgesetzt wurden. Darin expandierten und kollabierten die Blasen, und nach einigen Stunden dieses Betriebes fanden die Autoren in der Acetonlösung einen erhöhten

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  $^3\text{He}$ -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/~lahey/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