

Mittels Massenspektroskopie fand man, daß die Verteilung der Größe der Kohlenstoff-Cluster drastisch von Grad des chemischen "Kochens" in der Einlaßdüse der Vakuumkammer beeinflusst wird. Cluster mit 60 und 70 Kohlenstoffatomen konnten erzeugt werden. (Acc. Chem. Res., Vol. 25, No. 3, 1992)

stoffketten mußte zugunsten von Kohlenstoffbällen aufgegeben werden. Bereits am 12.9. wurden die Ergebnisse zusammengefaßt und an Nature zur Veröffentlichung eingesandt, wo sie am 14. November 1985 erschienen.

### Biographisches

Robert F. Curl Jr., geboren 1933 in Alice, Texas, promovierte 1957 an der Universität Berkeley, arbeitet seit 1958 an der Rice-Universität in Houston, TX, wo er seit 1967 Professor für Chemie ist.

Sir Harold W. Kroto, geboren 1939 in Wisbech, England, promovierte 1964 an der Universität Sheffield. Seit 1967 arbeitet er an der Universität von Sussex, wo er 1985 Professor für Chemie wurde.

Richard E. Smalley, geboren 1943 in Akron, Ohio, USA, promovierte 1973 an der Princeton-Universität und ist seit 1981 Professor für Chemie (seit 1990 auch für Physik) an der Rice-Universität.

**Literatur:** Spektrum der Wissenschaft, ????

## Nobelpreis für Physik 1996 für die Entdeckung der Supraflüssigkeit von He3

Die Königliche Schwedische Akademie der Wissenschaften hat beschlossen, den Nobelpreis 1996 für Physik gemeinsam den Professoren David M. Lee (Cornell Universität, USA), Douglas D. Osheroff (Stanford Universität, USA) und Robert C. Richardson (Cornell Universität, USA) für die Entdeckung der Supraflüssigkeit von He3 im Jahr 1972 zu vergeben. Im folgenden bringen wir eine Übersetzung der Pressemitteilung der Nobelstiftung.

### Ein Durchbruch in der Tieftemperaturphysik

Wenn an einem kalten Wintertag die Temperatur sinkt, wird Wasserdampf zu Wasser und Wasser zu Eis. Diese sogenannten Phasenübergänge und der veränderte Zustand der Materie können in groben Zügen mit der klassischen Physik beschrieben und erklärt werden: Wenn die Temperatur weiterhin fällt, kommt die ungeordnete Wärmebewegung in Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern zum Stillstand. Doch ändert sich die Situation völlig, wenn die Temperatur weiter abnimmt und sich dem absoluten Nullpunkt ( $-273,15\text{ °C}$ ) nähert: In flüssigem Helium tritt ein neues Phänomen auf, die Superfluidität, zu deutsch Supraflüssigkeit, das nicht mit den Mitteln der klassischen Physik verstanden werden kann. Wenn eine Flüssigkeit supraflüssig wird, verlieren die Atome ihre ungeordnete Bewegung und bewegen sich stets gemeinsam. Dadurch verschwindet die sonst bei Flüssigkeiten vorhandene innere Reibung: Die Flüssigkeit kann über den Rand eines Bechers oder durch sehr enge Öffnungen fließen, sie zeigt eine Reihe weiterer nichtklassischer Effekte. Da ein Verständnis der Eigenschaften solcher Flüssigkeiten nur auf Grundlage der Quantenphysik möglich ist, werden sie Quantenflüssigkeiten genannt. Durch das experimentelle Studium der Eigenschaften von Quantenflüssigkeiten und den Vergleich mit den Vorhersagen der Quantenphysik von Vielteilchensystemen bei tiefen Temperaturen werden wertvolle Einsichten für die Beschreibung der Materie auf dem atomaren Niveau gewonnen.

David M. Lee, Douglas D. Osheroff und Robert C. Richardson entdeckten zu Beginn der Siebzigerjahre im Tieftemperaturlabor der Cornell-Universität, das das Heliumisotop He3 bei einer Temperatur von etwa 0,002 K supraflüssig wird. Damit unterscheidet es sich stark von der anderen seit den Dreißigerjahren bekannten Quantenflüssigkeit, He4 bei einer Temperatur von etwa 2 K. Die besonderen Eigenschaften von supraflüssigem He3 zeigen, daß die Gesetze der Mikrophysik gelegentlich direkt das Verhalten von makroskopischen Körpern beherrschen.

### Die Heliumisotope

Das Edelgas Helium existiert in der Natur in zwei verschiedenen Formen, Isotopen, mit grundlegend verschiedenen Eigenschaften. He-4 ist das weitaus häufigere Isotop. Es hat einen Kern mit 2 Protonen und 2 Neutronen sowie eine Elektronenhülle aus 2 Elektronen. Da die Anzahl der Bestandteile des He4-Atoms gerade ist, stellt es ein sogenanntes Boson dar. Der

Kern von He<sup>3</sup> hat zwar auch 2 Protonen, aber nur ein Neutron. Da auch seine Elektronenhülle aus 2 Elektronen besteht, besteht das He<sup>3</sup>-Atom aus 5 Teilchen, einer ungeraden Anzahl, wodurch es ein sogenanntes Fermion ist. Die Folge dieses Unterschieds ist ein dramatisch unterschiedliches Verhalten bei Temperaturen in der Nähe des absoluten Nullpunkts.

## Die Eigenschaften der Isotope

Bosonen wie He<sup>4</sup> gehorchen der Bose-Einstein-Statistik, was unter anderem bedeutet, daß sie in einen Zustand niedrigster Energie übergehen (kondensieren). Der betreffende Phasenübergang wird Bose-Einstein-Kondensation genannt. Bereits Heike Kammerlingh-Onnes (Nobelpreis für Physik 1913), dem als erstem die Verflüssigung von Helium gelang, stellte eine Veränderung des flüssigen Zustands von He<sup>4</sup> unterhalb von 2 K fest. Doch erst gegen Ende der Dreißigerjahre entdeckte Pjotr Kapitza (Nobelpreis für Physik 1978) im Experiment die Superflüssigkeit von He<sup>4</sup>. Die Erklärung dieser Erscheinung erfolgte im Prinzip durch Fritz London und später im Detail durch Lev Landau (Nobelpreis für Physik 1962): Der neue Zustand, der als Phasenübergang bei einer Temperatur von 2,17 K auftritt, ist ein Bose-Einstein-Kondensat von Heliumatomen.

Fermionen wie He<sup>3</sup> gehorchen der Fermi-Dirac-Statistik und sollten eigentlich nicht in einem Zustand niedrigster Energie kondensieren. Trotzdem können Fermionen, wenn auch in wesentlich komplizierterer Weise, kondensieren. Der entsprechende Mechanismus wurde im Rahmen der BCS-Theorie der Supraleitung in Metallen von John Bardeen, Leon Cooper und Robert Schrieffer (Nobelpreis für Physik 1972) vorgeschlagen und beruht auf folgendem: Elektronen sind Fermionen und gehorchen wie die He<sup>3</sup>-Atome der Fermi-Dirac-Statistik. In Metallen von sehr tiefen Temperaturen können Elektronen sog. Cooper-Paare bilden und daher sich wie Bosonen verhalten. Diese Paare können ein Bose-Einstein-Kondensat bilden. Vor dem Hintergrund der Supraleitung in Metallen und der Superflüssigkeit von He<sup>4</sup> erwartete man, daß Fermionen im flüssigen He<sup>3</sup> Bosonpaare bilden könnten und daß in sehr kalten Proben von He<sup>3</sup> Superflüssigkeit auftreten könnte. Obwohl besonders in den Sechzigerjahren viele Forschungsgruppen dieses Problem angegangen waren, waren erfolglos geblieben und viele glaubten, daß man niemals den superflüssigen Zustand von He<sup>3</sup> erreichen könnte.

## Die Entdeckung

Im Tieftemperaturlabor der Cornell-Universität in Ithaca im Staat New York gelang es David Lee und Robert Richardson zusammen mit ihrem Dissertanten Douglas Osheroff mit einer selbst gebauten Apparatur, Temperaturen von wenigen Tausendstel Kelvin zu erreichen. Eigentlich suchten sie nach einem anderen Phänomen: Einen Phasenübergang zu einer magnetischen Ordnung in festem He<sup>3</sup>. Dazu untersuchten sie den Druck innerhalb der Probe, während sie das Probenvolumen durch äußeren Druck zunächst verkleinerten und anschließend vergrößerten. Osheroff fielen kleine Knickstellen in der gemessenen Kurve (Abb. 1) auf. Leicht könnte man solche kleinen Unregelmäßigkeiten als mehr oder weniger unerklärliche Eigenschaften des Geräts ansehen können, doch der Student

und seine älteren Kollegen erkannten, daß es ein reeller Effekt war. In einem ersten Bericht im Jahr 1972 wurde er als Phasenübergang in festem He<sup>3</sup> gedeutet, das sich bei diesen tiefen Temperaturen ebenfalls bilden kann. Da aber die Deutung nicht genau mit den gemessenen Ergebnissen übereinstimmte, wurden rasch weitere Meßreihen aufgenommen. In einer zweiten Veröffentlichung konnten die Forscher bereits im selben Jahr zeigen, daß es in flüssigem He<sup>3</sup> tatsächlich 2 Phasenübergänge gibt. Die Entdeckung bedeutete den Beginn intensiver Forschung über die neue Quantenflüssigkeit. Ein besonders wichtiger Beitrag zur Deutung der Entdeckung stammte vom Theoretiker Anthony Leggett.

Mit dieser Entdeckung hat sich unser Wissen darüber, wie die Gesetze der Quantenphysik, die für Systeme am atomaren Niveau formuliert wurden, das Verhalten makroskopischer Systeme bestimmen.

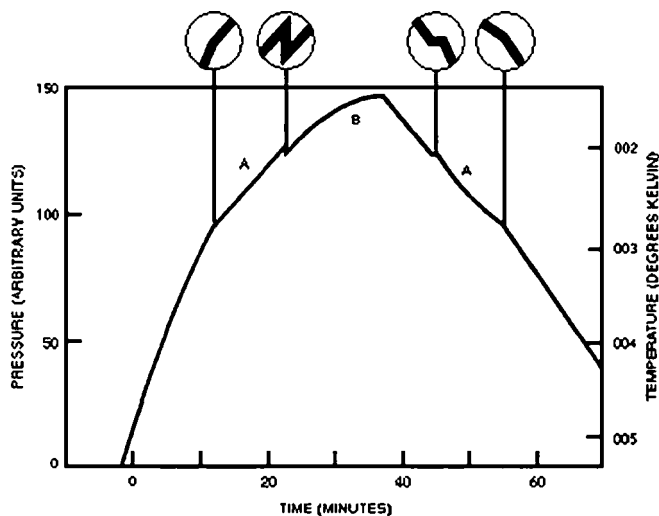


Abb. 1.: Die Abbildung zeigt den Druck in einer Mischung aus flüssigem und festem He<sup>3</sup>. Zunächst wird die Probe durch äußeren Druck etwa 40 Minuten lang komprimiert, dann expandiert. Zu beachten sind die Knickstellen der Kurve und die zugehörigen Temperaturen. (Nach N. Mermin und D. Lee, *Scientific American* 12/1976)

## Superflüssigkeit in He<sup>3</sup>

Daß die neue Flüssigkeit tatsächlich superflüssig ist, konnte unter anderen sehr bald von einer finnischen Arbeitsgruppe gezeigt werden. Sie maßen die Dämpfung einer schwingenden Saite in einer Probe von flüssigem He<sup>3</sup> und fanden, daß die Dämpfung beim Phasenübergang um einen Faktor 1000 abnahm. Dies zeigt, daß die Quantenflüssigkeit keine innere Reibung (Viskosität) besitzt.

In weiteren Untersuchungen zeigte es sich, daß He<sup>3</sup> mindestens 3 verschiedene superflüssige Phasen besitzt, von denen eine nur in einem Magnetfeld auftritt. Außerdem ist flüssiges He<sup>3</sup> anisotrop, zeigt also in verschiedenen Raumrichtungen verschiedene Eigenschaften und ähnelt damit den Flüssigkristallen (Nobelpreis 1991 für Pierre de Gennes).

Läßt man superflüssiges He in einer Zentrifuge rotieren, entstehen oberhalb einer bestimmten Drehgeschwindigkeit mikroskopisch kleine Wirbel. Bei He<sup>3</sup> ist diese Phänomen wesentlich komplexer als bei He<sup>4</sup>. Mit Lichtleitern kann man beispielsweise studieren, wie Wirbel die Oberfläche von superflüssigem He<sup>3</sup> beeinflussen.

## Eine faszinierende Anwendung

Der Phasenübergang zu superflüssigem He3 wurde kürzlich von zwei experimentellen Gruppen zur Überprüfung einer Theorie verwendet, wie sich im Universum "kosmische Strings" gebildet haben könnten. Diese vorläufig hypothetischen Objekte riesiger Ausdehnung, die bei der Bildung von Galaxien eine wichtige Rolle gespielt haben könnten, könnten bei einem Phasenübergang Sekundenbruchteile nach dem Urknall entstanden sein. In einem Analogie-Experiment wurden durch Neutronen ausgelöste Kernreaktionen genutzt, um superflüssiges He3 lokal rasch aufzuheizen. Bei der anschließenden Abkühlung und Rückkehr in den superflüssigen Zustand bildeten sich Knödel von Wirbeln. Diese Wirbel sollen den kosmischen Strings entsprechen. Dies ist zwar kein Beweis für die Existenz von kosmischen Strings im Weltall, doch scheint die Theorie, daß sich bei einem Phasenübergang Wirbel bilden können, zuzutreffen.

## Biographisches

David M. Lee, geboren 1931 in Rye, NY, USA, promovierte 1959 an der Yale-Universität und ist Professor für Physik an der Cornell-Universität in Ithaca, NY.

Douglas D. Osheroff, geboren 1945 in Aberdeen, WA, USA, promovierte 1973 an der Cornell-Universität und ist Professor für Physik an der Stanford-Universität in Kalifornien.

Robert C. Richardson, geboren 1937 in Washington, DC, USA, promovierte 1966 an der Duke-Universität und ist Professor für Physik an der Cornell-Universität in Ithaca, NY.

**Literatur:** Spektrum der Wissenschaft, August 1990

## Nobelpreis für Medizin 1996 für die Entdeckung der Spezifität der von Zellen vermittelten Immunabwehr

Die Nobelversammlung am Karolinen-Institut hat beschlossen, den Nobelpreis 1996 für Physiologie oder Medizin gemeinsam den Professoren Peter C. Doherty und Rolf Zinkernagel für die Entdeckung der Spezifität der von Zellen vermittelten Immunabwehr in den Jahren 1973-75 zu vergeben. Im folgenden bringen wir den Originaltext der Pressemitteilung der Nobelstiftung.

### Summary

Peter Doherty and Rolf Zinkernagel have been awarded this year's Nobel Prize in Physiology or Medicine for the discovery of how the immune system recognizes virus-infected cells. Their discovery has, in its turn, laid a foundation for an understanding of general mechanisms used by the cellular immune system to recognize both foreign microorganisms and self molecules. This discovery is therefore highly relevant to clinical medicine. It relates both to efforts to strengthen the immune response against invading microorganisms and certain forms of cancer, and to efforts to diminish the effects of autoimmune

reactions in inflammatory diseases, such as rheumatic conditions, multiple sclerosis and diabetes.

The two Nobel Laureates carried out the research for which they have now been awarded the Prize in 1973-75 at the John Curtin School of Medical Research in Canberra, Australia, where Peter Doherty already held his position and to which Rolf Zinkernagel came from Switzerland as a research fellow. During their studies of the response of mice to viruses, they found that white blood cells (lymphocytes) must recognize both the virus and certain self molecules – the so-called major histocompatibility antigens – in order to kill the virus-infected cells. This principle of simultaneous recognition of both self and foreign molecules has since then constituted a foundation for the further understanding of the specificity of the cellular immune system.

### The background to the Laureates' research

The immune system consists of different kinds of white blood cells, including T- and B- lymphocytes whose common function is to protect the individual against infections by means of eliminating invading

microorganisms and infected cells. At the same time they must avoid damaging the own organism. What is required is a well developed recognition system that enables lymphocytes to distinguish between on the one hand microorganisms and infected cells, and on the other, the individual's normal cells. In addition, the recognition system must be able to determine when white blood cells with a capacity to kill should be activated.

In the early 1970s when Peter Doherty and Rolf Zinkernagel had begun their scientific work within immunology, it was possible to distinguish between antibody-mediated and cell-mediated immunity. It was known that antibodies that are produced by B-lymphocytes are able to recognize and eliminate certain microorganisms, particularly bacteria. Far less was known about recognition mechanisms in the cellular immune system, for instance in conjunction with the killing of virus-infected cells by T-lymphocytes. One area where cellular immunity had previously been studied in some detail was, however, transplantation biology. It was known that T-lymphocytes could kill cells from a foreign individual after recognition of certain molecules – the major histocompatibility antigens – in the transplant.

### The discovery

Rolf Zinkernagel and Peter Doherty used mice to study how the immune system, and particularly T -lymphocytes, could protect animals against infection from a virus able to cause meningitis. Infected mice developed killer T-lymphocytes, which in a test-tube could kill virus- infected cells. But there was an unexpected discovery: the T-lymphocytes, even though they were reactive against that very virus, were not able to kill virus-infected cells from another strain of mice. What decided whether or not a cell was eliminated by these killer lymphocytes was not only if they were infected with the virus, but also if they carried the "correct" variant of histocompatibility antigens, those of the infected mouse itself. Zinkernagel's and Doherty's findings, which were published in Nature in 1974 (1,2),