Metallische Cluster – Glühbirnen der Nanowelt

Vanadium-Partikeln in einer Ionen-Falle isoliert / Wärmestrahlung nachgewiesen

Es ist ein bekanntes Phänomen, dass Festkörper Licht abstrahlen, wenn sie erhitzt werden. Ob die Wärmestrahlung vorwiegend infrarot, sichtbar oder ultraviolett ist, hängt lediglich von der Temperatur des Körpers ab. So ist ein rotglühender Feuerhaken deutlich kühler als ein weißglühender. Ein von außen kalt erscheinender Haken kann sich dennoch heiß anfühlen, wenn er infrarote Strahlung emittiert. In gleicher Weise können winzige Metallpartikeln, sogenannte Cluster, Strahlung erzeugen, selbst wenn sie nur aus wenigen Atomen bestehen. Das haben kürzlich Forscher der Institute für Kernchemie und Physik der Universität Mainz nachgewiesen.

Die Wärmestrahlung kleiner Teilchen wird schon seit Jahrtausenden zum Sehen bei Nacht genutzt. Das Licht einer Kerze ist nämlich nichts anderes als die Strahlung von rund 2000 Grad heißen Kohlenstoff-Teilchen, die einige hundert Nanometer (millionstel Millimeter) groß sind. Seit Anfang der neunziger Jahre findet die Wärmestrahlung von Clustern vermehrt wissenschaftliches Interesse. So haben vor einigen Jahren Forscher des Max-Born- Instituts für Nichtlineare Optik in Berlin gezeigt, dass auch die fußballförmigen Kohlenstoff-Moleküle, die Fullerene, Licht abstrahlen, wenn man sie erhitzt. Sie emittieren ähnlich wie die Rußpartikeln einer Kerze überwiegend infrarote Strahlung.

Unlängst haben Physiker der Universität Konstanz die optischen Eigenschaften von Metallclustern untersucht, die aus einigen tausend Atomen bestanden. Wurden die Partikeln aus Niob, Wolfram und Hafnium mit einem ultravioletten Laserstrahl angeregt, gaben sie überwiegend sichtbares Licht ab. Aus den Spektren konnten die Wissenschaftler die Temperatur der Teilchen ermitteln. Sie waren durch den Laser auf über 4000 Grad erhitzt worden.

Die Temperaturstrahlung der Cluster folgt nicht wie bei einem Stück Metall dem planckschen Gesetz. Weil die Aggregate sehr klein sind – ihre Ausdehnung ist kleiner als die Wellenlänge von sichtbarem Licht –, unterscheiden sich ihre physikalischen Eigenschaften teils erheblich von denen eines Festkörpers. Daher ist auch die Konstante des wienschen Verschiebungs-Gesetzes kleiner, welche das Maximum der spektralen-Intensität zur Temperatur in Beziehung setzt. Die Strahlung ist zu kürzeren Wellenlängen hin verschoben.

Deshalb sind mehrere tausend Grad heiße Wolfram-Cluster zur Erzeugung von sichtbarer Strahlung viel besser geeignet als der Glühfaden einer Lampe, der nur zehn Prozent sichtbares Licht abstrahlt. Der übrige Teil des Spektrums des Drahtes besteht überwiegend aus infraroter Strahlung. Forscher der Philips-Laboratorien in Aachen haben das optische Verhalten der Partikeln vor einigen Jahren zur Entwicklung eines Prototyps einer „Cluster-Lampe" genutzt, die mit hohem Wirkungsgrad sonnenähnliches Licht erzeugt. Die hohen Herstellungskosten verhinderten bisher die praktische Anwendung.

Das Licht der Cluster ist nur dann mit dem Auge sichtbar, wenn die Teilchen wie in der Cluster-Lampe in einer ausreichend großen Zahl vorliegen. Das ist zumeist nur für Gemische von Teilchen unterschiedlicher Größe der Fall. Will man die Temperaturstrahlung von Clustern einer bestimmten Ausdehnung nachweisen, hat man es aber mit recht kleinen Partikel-Mengen zu tun. Das emittiere Licht ist dann so schwach, dass es nicht direkt beobachtet werden kann. Die Mainzer Wissenschaftler haben nun einen Weg gefunden, dieses Hindernis zu umgehen, indem sie die Wärmestrahlung indirekt nachwiesen.

Die Forscher um Lutz Schweikhard und Clemens Walther haben zunächst Vanadium-Cluster definierter Größe (nämlich aus genau 13 Atomen) in einer sogenannten Penning-Falle eingesperrt. In diesem Ionen-Käfig – eine Kombination elektrischer und magnetischer Felder – lassen sich geladene Partikeln beliebig lange speichern und untersuchen. Prozesse, die von der Zeit abhängen wie der Zerfall von angeregten Clustern in kleinere Bruchstücke, können so detailliert studiert werden.

In einem ersten Schritt haben die Forscher die gespeicherten Teilchen mit einem Laserpuls auf eine bestimmte Temperatur aufgeheizt. Dabei wurde die Photonenenergie so klein gewählt, dass die Cluster keine Atome abdampfen konnten. Danach strahlten die Wissenschaftler einen weiteren Lichtpuls ein. Folgte dieser unmittelbar nach dem ersten, zerfielen die Cluster. Ließ man dagegen eine längere Zeit zwischen den Lichtpulsen verstreichen, wurde der Zerfall teilweise unterdrückt oder unterblieb sogar ganz. Offenbar hatten sich die Teilchen zwischen den Pulsen durch die Emission von Photonen abgekühlt („Physical Review Letters", Bd. 83, S. 3816). Mit diesem Verfahren haben die Forscher die Wärmestrahlung für Temperaturen zwischen 700 und 1700 Grad untersucht. Dabei stellten sie fest, dass sich die winzigen Cluster optisch ähnlich verhalten wie ein glühend heißer Feuerhaken aus Eisen.

MANFRED LINDINGER

FAZ 8. Dez 99 Nr. 286/N3