

Erweiterte Pressemitteilung (insb. mit weiteren Abbildungen)
auf Basis der idw-Pressemitteilung ([auf Deutsch](#) / [in Englisch](#)) zu

C. Breitenfeldt et al.

Long-term monitoring of the internal energy distribution of isolated cluster systems
Phys. Rev. Lett. 20. Juni 2018, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.253001>

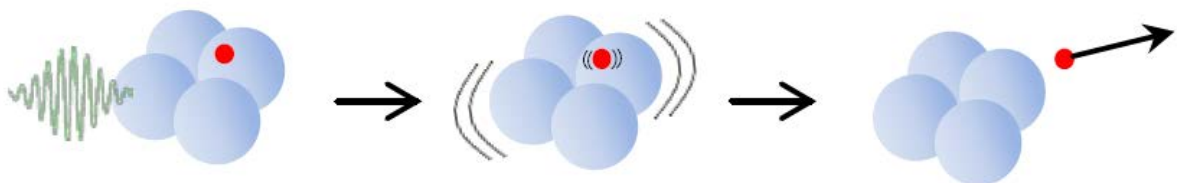
Wärmestrahlung bei kleinsten Teilchen

Dem Greifswalder Physiker Christian Breitenfeldt und Kollegen am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg gelingt dort die zeitaufgelöste Messung der inneren Energieverteilung gespeicherter Clusteranionen bestehend aus vier neutralen Kobaltatomen und einem Elektron. Über diese direkte Beobachtung des Wärmestrahlungsaustauschs der kleinen Teilchen mit ihrer Umgebung wird in der Zeitschrift Physical Review Letters berichtet.

Man muss eine warme Herdplatte nicht erst anfassen, um die Hitze zu spüren. Bei höheren Temperaturen sieht man sie rot glühen. Auch wenn sie weniger heiß ist, sendet sie Licht aus – dann allerdings nicht im sichtbaren sondern im infraroten Wellenlängenbereich, d.h. die elektromagnetischen Wellen sind für uns Menschen nicht sichtbar. Für Gegenstände des täglichen Lebens bis hin zum Sonnenlicht kennt man die Strahlungsgesetze schon seit den Zeiten von Max Planck, der für seine Untersuchungen den Nobelpreis für Physik des Jahres 1918 bekam. Einzelne Atome für sich genommen senden Strahlung nach ganz anderen, aber ebenfalls wohlbekannten Gesetzen aus. Dagegen ist der Verlauf der Strahlungskühlung für Cluster – Nanoteilchen aus wenigen Atomen oder Molekülen – noch immer nicht vollständig verstanden.

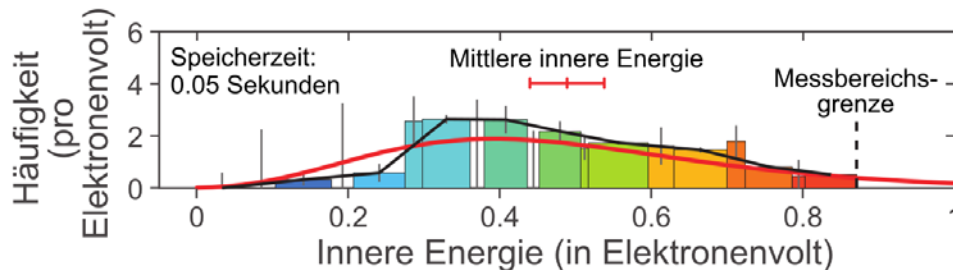
Dieser Thematik wird am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg nachgegangen, wo der Greifswalder Doktorand Christian Breitenfeldt aus der Arbeitsgruppe von Prof. Lutz Schweikhard seine Untersuchungen an einer elektrostatischen Ionenstrahlfalle der Abteilung von Prof. Klaus Blaum unter der Federführung von Prof. Andreas Wolf und Dr. Sebastian George durchführte. [Die Zusammenarbeit wurde ermöglicht durch die Förderung der Max-Planck-Gesellschaft](#) für den Aufbau und die Weiterentwicklung des Speicherrings CSR (Cryogenic Storage Ring) und entsprechender Vorexperimente an der CTF-Falle (Cryogenic Trap for Fast Ion Beams), an der Christian Breitenfeldt zusammen mit den Heidelberger Kollegen seine Messungen durchführte.

Für ihre Untersuchungen wählten sie Nanosysteme aus vier Kobaltatomen. Diese Kobaltcluster wurden mit einem zusätzlichen Elektron als negativ geladene Ionen erzeugt und in der CTF eingefangen. Die CTF-Apparatur besteht im Wesentlichen aus zwei ionenoptischen Spiegeln, zwischen denen die gespeicherten Ionen in ultrahohem Vakuum hin und her pendeln. Sie ähnelt den Multireflexions-Flugzeitmassenspektrometern, wie zum Beispiel [einem in Greifswald entwickelten Gerät, das am CERN eingesetzt wird](#).



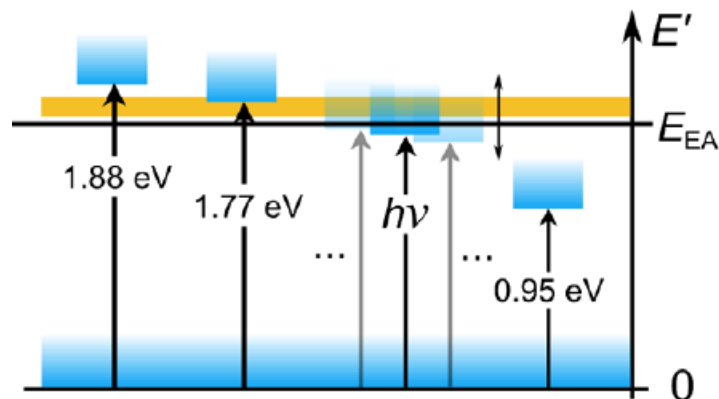
Schematische Veranschaulichung der verzögerten Abgabe des überzähligen Elektrons nach der Photoanregung eines vieratomigen, negativ geladenen Kobaltclusters. Von links nach rechts: Lichtquant trifft auf Cluster, erhöhte innere Energie des Clusters nach der Absorption des Photons, Elektronenabgabe und dadurch Rückkehr zur niedrigen inneren Energie

Im Gegensatz zu den dort durchgeführten Präzisions-Massenmessungen ging es bei den Kobaltclustern um die berührungslose Speicherung und die Möglichkeit, die Ablösung des überzähligen Elektrons der negativen Cluster zu beobachten. Die Wärme, die in den Teilchen gespeicherte Energie ist, kann sich auf ein Elektron übertragen. Dies führt dazu, dass dieses Elektron den Cluster verlassen kann. Damit ist der Cluster nicht mehr geladen, wird in der Ionenfalle nicht länger gespeichert und trifft auf einen Detektor. Über die so nachgewiesenen neutralen Clustern kann auf den Elektronenabgabeprozess und auf die dafür nötige innere Energie des Clusters zurückgeschlossen werden.



Anfangsverteilung der inneren Energien von negativen Clustern aus vier Kobaltatomen, gemessen für die heiße Sputter-Ionenquelle. Der horizontale rote Balken gibt die mittlere innere Energie der Cluster an.

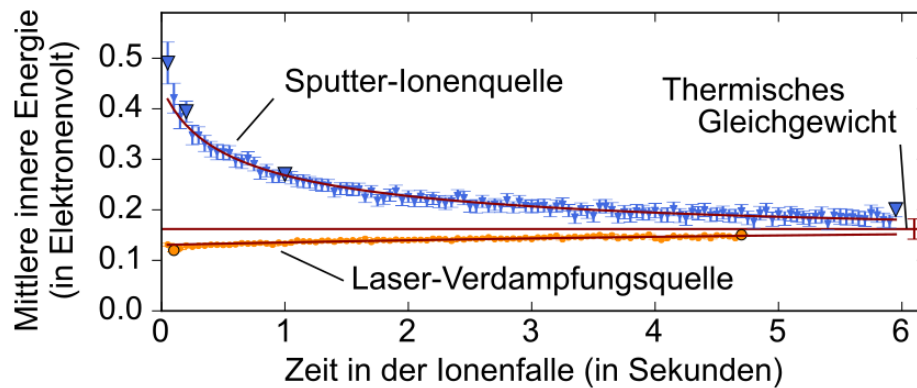
Bei den jetzt berichteten Untersuchungen reichte die innere Energie für die Elektronenabgabe zunächst nicht aus. Sie wurde den Clustern daher zusätzlich mit Laserpulsen zugeführt. Hierbei kann die Energiemenge über die Energie der Lichtquanten im Laserpuls, d.h. über dessen Wellenlänge, genau bemessen werden. Die Elektronenabgabe als Funktion der Laserwellenlänge diente dann als Sonde für die innere Energieverteilung der gespeicherten Kobaltcluster.



Bestimmung der inneren Energie (blaues Band unten) der Cluster durch Anregung der Elektronen bei verschiedenen Photonenenergien ($h\nu$ zwischen 0,95 und 1,88eV). Der Nachweis der Elektronenabgabe ist beschränkt auf Elektronenzustände im Bereich des gelben Energiebandes über die Elektronenaffinität (E_{EA}), d.h. auf die entsprechenden Photoanregungen.

Die Energieverteilungen – sie beschreiben, wie häufig Cluster als Funktion einer bestimmten inneren Energie auftreten – wurden mit der neuen Methode kontinuierlich ermittelt, sobald die Cluster in der Falle eingefangen waren. Eine Zeitspanne bis zu 6 Sekunden wurde in Schritten von 50 Millisekunden – also eines Zwanzigstel einer Sekunde - abgedeckt. Schon bei ihrer Erzeugung erhalten die Cluster eine gewisse innere Energie, deren Menge von der Bauart der verwendeten Ionenquelle abhängt. So liegt die innere Energie in einer heißen „Sputter-Ionenquelle“ weit über derjenigen, die der Raumtemperatur im Labor entspricht. Die Form dieser Anfangsverteilung wurde mit Laserpulsen kurz nach dem Einfang vermessen.

Nach längerer Speicherung in der Falle verschoben sich die Verteilungen sukzessive zu niedrigeren Energien – mit anderen Worten, die Cluster kühlten sich ab, da sie mehr Wärmestrahlung aussendeten als sie von ihrer Umgebung aufnahmen. Die Cluster näherten sich also der Temperatur der Falle an, die hier bei Zimmertemperatur betrieben wurde. Dieser thermische Ausgleichsprozess wurde mit hoher Zeitaufösung anhand des Verlaufs der gemessenen mittleren Energie verfolgt.



Verlauf der mittleren inneren Energie der Cluster dieser Energie, beobachtet mit zwei verschiedenen Ionenquellen.

Neben der heißen Sputterquelle wurde auch eine sogenannte Laserverdampfungsquelle eingesetzt, die von der Kaiserslauterner Arbeitsgruppe um Prof. Gereon Niedner-Schatteburg geliefert wurde. Diese Quelle erzeugt „kalte Cluster“ mit niedriger innerer Energie. In diesem Fall überwog der Strahlungsfluss in umgekehrter Richtung, d.h. die Cluster wurden mit der Zeit auf Zimmertemperatur erwärmt.

Kühlung und Heizung durch Wärmestrahlung sind wichtig für die Stabilität von Nanoteilchen im freien Raum. Unter Weltraumbedingungen – im „interstellaren“ Raum zwischen den Sternen – können die Umgebungstemperaturen sehr kleine Werte erreichen. Nach den nun vorliegenden ersten Resultaten wird daher die Untersuchung dieses Prozesses auch auf viel kleinere Temperaturen von nur wenigen Grad über dem absoluten Nullpunkt ausgedehnt. Am kryogenen Speicherring CSR, [der vor kurzem am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Betrieb gegangen ist](#), haben erste Messungen hierzu an den negativen vieratomigen Kobaltclustern begonnen. Bereits jetzt ist zu beobachten, dass sich bei den geringen Temperaturen der Energieaustausch durch Wärmestrahlung verlangsamt. Die langen Speicherzeiten für Ionenstrahlen im CSR (bis in den Bereich von einer Stunde) erweisen sich daher als besonderer Vorteil für die Untersuchung von Molekülen und Clustern unter interstellaren Bedingungen.