

Kühlung der Rotation von OH-Ionen im CSR. Ein Laser neutralisiert die OH-Ionen. Die Quantenzustände J der Rotation sind verschieden stark angeregt. Auch der tiefste angeregte Zustand ($J=1$) verschwindet nach ca. 10 Minuten. Danach sind bis auf wenige % alle OH-Ionen im Grundzustand $J=0$.

Diese Quantenphysik spielt eine wichtige Rolle im interstellaren Raum, in den äußeren Atmosphären der Erde und anderer Planeten, und in vielen Bereichen von Chemie und Biologie.

Mit Laserstrahlung und empfindlichen Teilchendetektoren wurde nachgewiesen, dass sich Moleküle nach etwa minutenlanger Speicherung im CSR tatsächlich weit unter übliche Labortemperaturen abkühlen und sich in ihrer inneren Bewegung an die künstlichen Weltraumbedingungen angleichen. Dies ermöglicht nun detaillierte Untersuchungen von Reaktionsprozessen. Bei einem Typ der Experimente werden den gespeicherten Molekülonen Elektronen so entgegen gelenkt, dass die Reaktionsbedingungen der Temperatur des interstellaren Mediums entsprechen. Dies stellt eine Reaktion nach, bei der interstellare Molekülonen durch umgebende Elektronen in ihre atomaren Bestandteile zerlegt werden. Je effektiver diese Reaktionen sind, desto weniger lange können die Molekülonen in interstellaren Wolken überleben.

Die neuen Experimente am CSR zeigen, dass sich die Reaktionsraten stark reduzieren, vergleicht man sie mit bisherigen Messungen bei üblicher Labortemperatur. Überraschenderweise bleiben bei den tiefen inneren Molekültemperaturen nur einige der vielen möglichen Reaktionswege erhalten. Die Teilchendetektoren im CSR messen auch die räumliche Verteilung der atomaren Bestandteile, die bei dieser Reaktion entstehen, und konnten so bereits erste Eigenschaften der noch verbleibenden Reaktionswege erfassen.

Ansprechpartner:

Dr. Robert von Hahn
Tel.: 06221 516396
E-Mail: robert.von.hahn@mpi-hd.mpg.de

Prof. Dr. Klaus Blaum
Tel.: 06221 516850
E-Mail: klaus.blaum@mpi-hd.mpg.de

Prof. Dr. Andreas Wolf
Tel.: 06221 516503
E-Mail: andreas.wolf@mpi-hd.mpg.de

Dr. Holger Kreckel
Tel.: 06221 516517
E-Mail: holger.kreckel@mpi-hd.mpg.de



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Der ultrakalte Speicherring CSR



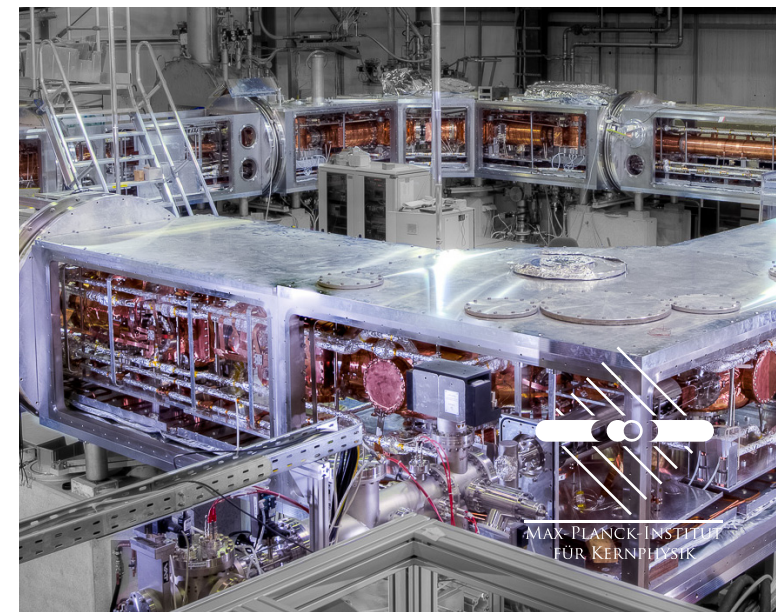
MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KERNPHYSIK
HEIDELBERG

Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

www.mpi-hd.mpg.de



Das Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) ist eines von 84 Instituten und Forschungseinrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft. Das MPIK betreibt experimentelle und theoretische Grundlagenforschung auf den Gebieten der Astroteilchenphysik und der Quantendynamik.



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KERNPHYSIK

Der ultrakalte Speicherring CSR

Am MPIK wird ein neuer, weltweit einzigartiger ultrakalter Speicherring (CSR) für Atom-, Molekül- und Clusterionen betrieben. Mit den Ionen, gespeichert bei einer Temperatur knapp über dem absoluten Nullpunkt, lassen sich molekulare Reaktionen als Einzelprozesse beobachten. Hierbei werden Bedingungen erreicht, wie sie zum Beispiel in interstellaren Wolken herrschen.

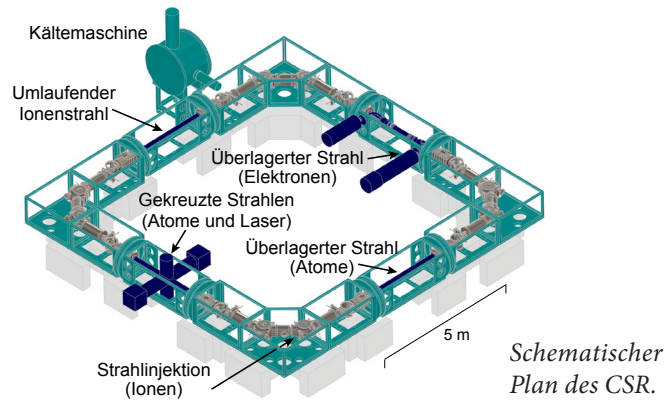
Molekülionen in extremem Vakuum

Das Innenleben der Moleküle wird durch die Quantendynamik ihrer Atomkerne und Elektronen bestimmt. Ihre Umwelt – wie etwa Wechselwirkungen mit anderen Molekülen, Licht oder Wärmestrahlung – kann die Atome innerhalb der Moleküle anregen und in Bewegung setzen. Das kann chemische Reaktionen auslösen oder es bringt Moleküle dazu Licht auszusenden. Empfindliche Beobachtungen molekularer Prozesse erlauben somit einen Blick in die submikroskopische Vielteilchen-Quantendynamik innerhalb der Moleküle, als Grundlage der Chemie.

In Materie spielen elektrisch geladene Teilchen, die positiven Atomkerne und die negativen Elektronen, eine Hauptrolle. Meist neutralisieren sich positive und negative Ladungen gegenseitig. Das Übergewicht einer der Ladungstypen aber führt zu positiven oder negativen Molekülionen. Freie Molekülionen sind hoch reaktiv. Extremes Vakuum ist nötig, damit sie im Labor längere Zeit bestehen können. Dann kann man sie – mit Hilfe elektrischer oder magnetischer Felder – einzeln handhaben und für Experimente speichern.

Einzelreaktionen mit Molekülionen-Strahlen

Um einzelne Reaktionsprozesse zu beobachten, werden Molekülionen in einem Ionenstrahl auf hohe Geschwindigkeit gebracht. Ionen verschiedener Art, oder auch die atomaren Bestandteile der Moleküle können mit Hilfe dieser Ionenstrahlen bei jeder gewünschten Relativ-Geschwindigkeit gegeneinander gelenkt und zur Reaktion gebracht werden. In Kombination mit Teilchendetektoren, welche die Reaktionen als Einzelprozesse beobachten, öffnet sich hier ein breites Forschungsfeld zur Erkundung des molekularen Aufbaus der Materie.



Der kryogene Speicherring CSR

Ein neues, einzigartiges Werkzeug hierfür ist der kryogene Speicherring CSR am MPIK. In extrem hohem Vakuum, erzeugt durch tiefste Temperaturen, werden Ionenstrahlen gespeichert. Auch für schwere Moleküle, sogar für "Cluster" aus mehreren Molekülen, ist der CSR geeignet. Auf ihrer geschlossenen Rennbahn durch den Speicherring durchqueren sie vier geradlinige Wechselwirkungsstrecken. Hier stoßen sie auf andere atomare Teilchen oder auf von außen gesteuerte Laserstrahlung, und hier liefern leistungsfähige Nachweisgeräte Daten zu einzelnen molekularen Reaktionsprozessen.

Weil wir an diesem Speicherring auch mit sehr schweren Molekülen oder Clustern experimentieren wollen, kommt nur eine rein elektrostatische Ionenoptik in Frage; geeignete magnetische Ablenkensysteme müssten riesige Ausmaße annehmen. Die ablenkenden und fokussierenden elektrostatischen Einheiten sitzen im Gegensatz zu einem magnetischen System innerhalb der Vakuumkammer. Insgesamt kommen 16 Quadrupoleinheiten zur Strahlfokussierung und 16 Ablenkeinheiten zum Einsatz, um die Ionen bis zu vielen Minuten auf ihrer 35 m langen Umlaufbahn halten zu können. Ein viel höheres Vakuum als in anderen Ionenspeicherringen ist erforderlich: Im CSR muss die Dichte 10^{16} mal kleiner als in der Atmosphäre sein (Druck im Bereich von 10^{-13} mbar).

Eine Vakuumkammer bei -265°C

In der extrem kalten Vakuumkammer des Speicherrings – abgeschirmt vor Wärmestrahlung und störendem Gas aus der Erdatmosphäre – erreichen gespeicherte Moleküle ihre tiefsten quantenmechanischen Zustände, als Voraussetzung für ihre präzise Untersuchung. Außerdem lassen sich viele Reaktions-

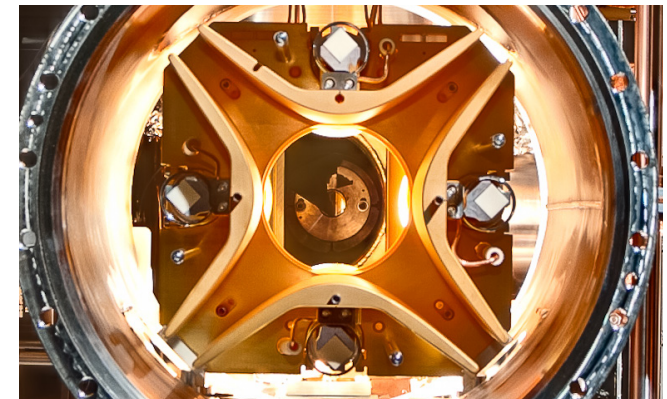
schritte im interstellaren Weltraum (wichtig etwa bei der Bildung von Sternen, Planeten, interstellaren Molekülen wie Wasser, und interstellarem Staub) unter Weltraumbedingungen optimal im Labor untersuchen.

Die Vakuumkammer, die den Ionenstrahl im CSR umgibt, hat eine Temperatur von ca. -265°C . An 28 im Ring verteilten Stellen werden noch tiefere Temperaturen (nahe -269°C) erzeugt, um auch die flüchtigsten Bestandteile der Luft an einer kalten Oberfläche auszufrieren. Eine Kältemaschine verteilt flüssiges Helium in einem Rohrsystem, das den Ring vielfach umläuft. All dies befindet sich in einem äußeren Vakuumsystem, dem Isoliervakuum. Es unterbindet die Wärmeleitung nach außen, und innere Wände auf -240°C bis ca. -200°C schirmen die irdische Wärmestrahlung ab.

Das mechanische Design ist durch die Tieftemperaturanforderung bestimmt. Fast jedes Material schrumpft bei Kälte; ein 1 m langes Edelstahlrohr etwa um 3 mm zwischen 20°C und -265°C . Flexible Metall-Bälge entkoppeln die Elemente, und alle Teile der Ionenoptik sind separat auf stabilen Betonsockeln verankert.

Experimente mit Ionenstrahlen in der Kälte

Die Experimentierbereiche des CSR stellen Tieftemperaturzonen dar, die durch neuartige empfindliche Teilchendetektoren und zusätzliche, mit den gespeicherten Molekülen überlagerte Elektronen- und Atomstrahlen ausgebaut wurden. Hiermit werden nun mehrmals jährlich experimentelle Kampagnen durchgeführt. Sie widmen sich der submikroskopischen Vielteilchen-Quantendynamik mit elektrisch geladenen Molekülen bei tiefen Temperaturen.



Blick entlang des CSR-Ionenstrahls auf die Quadrupol-Fokussierelektroden aus vergoldetem Aluminium.