

einzelnen zählen. Das Projekt mit dem Namen ASTROLAB hat sich das Ziel gesetzt, ein sehr viel besseres Verständnis der Entstehung von biologisch relevanten Verbindungen bei niedrigen Temperaturen und Dichten zu erreichen.

Elektronen als Gegenspieler

Während sich in interstellaren Wolken Moleküle und Atome zu Reaktionen zusammenfinden, sind die geladenen Ionen beständig der Gefahr ausgesetzt, auf ein freies Elektron zu treffen und von diesem zerstört zu werden. Denn wenn ein Elektron und ein kleines Molekül „rekombinieren“, wird sehr viel Energie frei – mehr Energie als das Molekül aufnehmen kann – so dass es in der Regel zerbricht. Dieser Prozess ist enorm wichtig für Modellrechnungen der interstellaren Chemie, weil er einen natürlichen Gegenpart für die Bildung größerer Moleküle in den chemischen Netzwerken bildet. Um auch die Elektronenrekombination unter interstellaren Bedingungen studieren zu können, wird am MPIK eine Elektronenstrahlapparatur entwickelt, ein sogenannter Elektronenkühler. Für eine bestmögliche Kontrolle über den Prozess werden die Elektronen bei diesem Aufbau in einzigartiger Weise durch einen Laserstrahl mittels des Photoeffekts aus einem kalten Substrat extrahiert und in einen Strahl überführt. So können extrem präzise Kollisionsexperimente zwischen einzelnen Molekülonen und Elektronen durchgeführt werden.

Kombination modernster Labortechniken erlaubt neue Einsichten in die Chemie des Weltalls

Durch das Zusammenspiel moderner Methoden der Atom- und Molekülphysik wird es in der nahen Zukunft möglich sein, interstellare Vorgänge detailliert im Labor nachzuvollziehen und zu studieren. Das Ziel der Molekül-Astrophysik-Gruppe am MPIK ist die Präparation von Molekülonen in den niedrigsten Rotations- und Vibrationszuständen, bis hin zur Selektion von einzelnen Quantenzuständen für Kollisions- und Reaktionsexperimente. Der CSR-Speicherring stellt dabei ein weltweit einzigartiges Labor dar, und die Kombination von Elektronenkühlung, neutralen Atomstrahlen und Laserspektroskopie öffnet ein neues Fenster in die Chemie des Weltalls.

Max-Planck-Institut für Kernphysik

Hausanschrift:
Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

Postanschrift:
Postfach 103980
69029 Heidelberg

Tel: 06221 5160
Fax: 06221 516601

E-Mail: info@mpi-hd.mpg.de
Internet: <http://www.mpi-hd.mpg.de>

Ansprechpartner:

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

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



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Moleküle im Weltraum: Laborastrophysik



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KERNPHYSIK

Moleküle im Weltraum:

Laborastrophysik am Max-Planck-Institut für Kernphysik

Die Chemie des interstellaren Raumes ist eines der aktivsten Forschungsfelder der Astronomie. Moderne Teleskope erforschen die molekulare Zusammensetzung des Universums und liefern detaillierte Informationen über die Vorkommen von interstellaren Molekülen wie Wasser oder organische Verbindungen. Die Entstehung des Lebens auf der Erde ist vermutlich eng verknüpft mit der Bildung von biologisch relevanten Molekülen im Weltall. Um die komplexe Chemie interstellarer Wolken zu verstehen, werden am Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) Molekülreaktionen bei extrem niedrigen Temperaturen und Dichten im Labor erforscht.

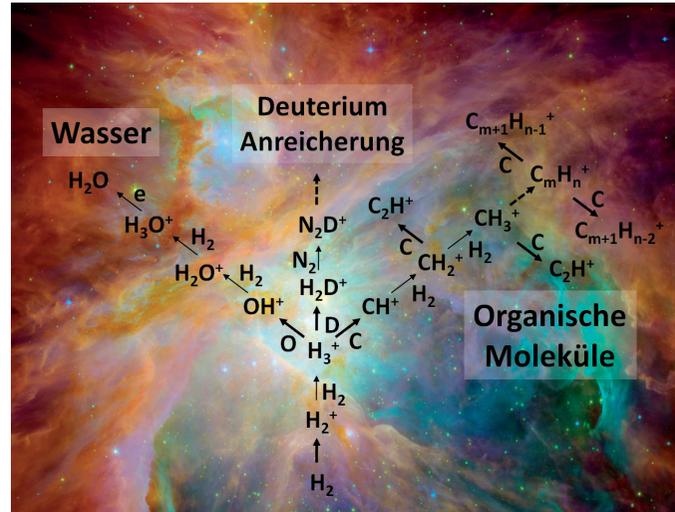
Chemische Reaktionen unter extremen Bedingungen

Die Chemie des Weltalls unterscheidet sich stark von der Chemie, die wir hier auf der Erde kennen. Molekulare Reaktionen finden dort bei niedrigsten Temperaturen von bis zu $-263\text{ }^\circ\text{C}$ statt, nur zehn Grad vom absoluten Nullpunkt entfernt. Außerdem herrschen in interstellaren Wolken sehr niedrige Dichten, so dass Monate oder Jahre zwischen einzelnen Reaktionsschritten vergehen können. So können dort hochreaktive Verbindungen existieren, die bei terrestrischen Bedingungen kaum Überlebenschancen hätten. Andererseits ist aufgrund der niedrigen Temperatur oft nicht genug chemische Energie vorhanden, um Reaktionsbarrieren zu überwinden oder Prozesse zu initiieren. Viele Reaktionspfade, die wir hier auf der Erde als effektiv kennen, sind daher im Weltall blockiert.

Geladene Moleküle reagieren schneller

Trotz der extremen Bedingungen gibt es im Weltall aktive chemische Netzwerke, die zur Bildung komplexer Moleküle führen. Der Schlüssel zu dieser überraschenden Vielfalt steckt in Reaktionen zwischen geladenen Atomen und Molekülen (Ionen) und neutralen Reaktionspartnern. Diese Ionen-Neutral-Prozesse laufen ohne Aktivierungsbarriere ab und sind

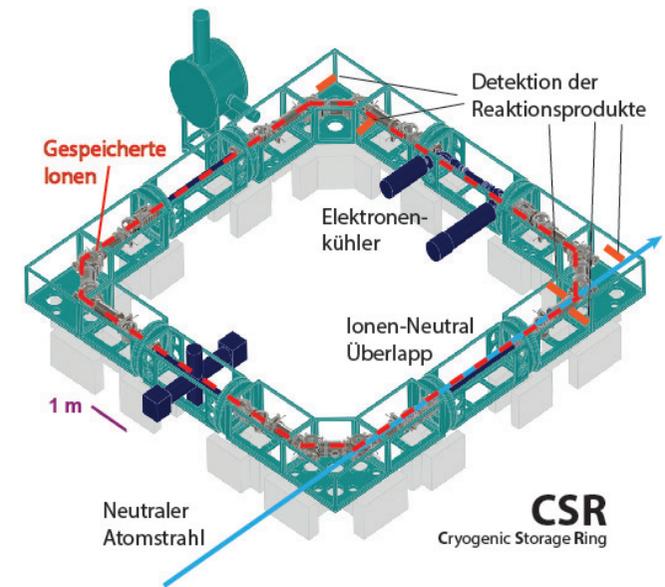
daher selbst bei niedrigsten Temperaturen sehr effektiv. Um die Prozesse im Labor nachzubilden, bedarf es aufwändiger Versuchsaufbauten, da beide Reaktionspartner sehr reaktiv sind und erst erzeugt werden müssen, bevor sie kontrolliert zur Reaktion gebracht werden können. Die Molekülphysik-Gruppe am MPIK betreibt zu diesem Zweck verschiedene Arten von Ionenspeichern.



Auszug aus dem chemischen Netzwerk einer interstellaren Wolke. Gezeigt sind Reaktionsketten, die durch Ionen-Neutral-Reaktionen zur Bildung von Wasser und organischen Molekülen führen.

Der CSR – eine kalte Rennbahn für Molekülionen

Eine ganz besondere Art Ionenspeicher stellt der ultrakalte Speicherring (Cryogenic Storage Ring, CSR) dar. In diesem weltweit einzigartigen Instrument können Molekülionen durch elektrostatische Felder auf einem Rundkurs von 35 m Länge gespeichert werden. Um möglichst lange Speicherzeiten zu erreichen, werden die inneren Vakuumkammern des CSR durch einen geschlossenen Helium-Kreislauf auf Temperaturen unter $-263\text{ }^\circ\text{C}$ gekühlt. Dadurch wird ein extrem gutes Vakuum von etwa 10^{-16} Atmosphären (10^{-13} mbar) erreicht. In diesen äußerst reinen Verhältnissen können selbst die reaktivsten Molekülionen für viele Minuten oder Stunden gespeichert werden. Gleichzeitig haben die gespeicherten Moleküle genug Zeit, um sich der umliegenden niedrigen Temperatur anzupassen. Daher erlaubt der CSR Experimente unter Bedingungen, wie sie im echten interstellaren Medium tatsächlich vorherrschen.



Übersicht über den Kryogenen Speicherring CSR mit der Neutralstrahl-Injektion und dem Elektronenkühler.

Neutrale Atome stehen am Anfang der Chemie

Am Anfang des Pfades zu mehratomigen Molekülen wie Wasser (H_2O) oder zu organischen Verbindungen stehen Reaktionen von Ionen mit neutralen Atomen. Während praktisch alle Elemente auf der Erde bereits als Moleküle vorliegen, stellen die neutralen Atome im interstellaren Raum oft die stärkste Fraktion. Dementsprechend ist es wichtig, ein gutes Verständnis von Ionen-Atom-Reaktionen zu bekommen. Zu diesem Zweck wird am MPIK eine neuartige Neutralstrahlapparatur für den CSR entwickelt. In einem speziellen Aufbau werden zunächst intensive Ionenstrahlen aus negativ geladenem Wasserstoff (H^-), Kohlenstoff (C^-) oder Sauerstoff (O^-) produziert, welche dann von einem sehr starken Laserfeld neutralisiert werden. Die neutralen Atome werden in eine der geraden Sektionen des CSR eingeschossen und dort den gespeicherten Ionen mit der gleichen Geschwindigkeit überlagert. Nun können die Atome mit den Ionen unter sehr kontrollierten Bedingungen chemische Reaktionen eingehen. Einzelteilchendetektoren im Speicherring weisen die Reaktionsprodukte nach. Damit kann man chemische Reaktionen unter interstellaren Bedingungen sehr sensitiv nachweisen und die Produkte sogar