Der cryogene Speicherring CSR und die elektrostatische Strahlfalle CTF am MPI für Kernphysik

50 Jahre 1956 – 2006 Max-Planck-Institut für Kernphysik

Max-Planck-Institut für Kernphysik

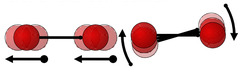
Atom- und Molekülionen nehmen bei chemischen Prozessen in natürlichen oder technischen Plasmen Schlüsselrollen ein. Für die experimentelle Grundlagenforschung auf diesem Gebiet haben sich Schwerionen-Speicherringe wie der TSR am Max-Planck-Institut für Kernphysik als äußerst nützliche Instrumente erwiesen. Mit dem neuen Cryogenen Speicherring CSR will das MPI die Präzision dieser Experimente um einen großen Schritt vorantreiben.

Eine wichtige Anwendung ist die Labor-Astrophysik. Hier werden die Bedingungen im Weltall (Temperatur, hohes Vakuum etc.) im Experiment nachgestellt und untersucht, wie chemische Reaktionen mit Ionen dort ablaufen.

Wie hier im Adlernebel enstehen Sterne durch den Kollaps von interstellaren Gaswolken. Das funktioniert jedoch nur wenn die Gaswolke viele Moleküle enthält.

Diese können die beim Kollaps freiwerdende Energie bei Streuprozessen in innere Energie umwandeln und dann als Licht abstrahlen. Die Gaswolke kühlt ab und zieht sich weiter zusammen bis sie schließlich zu einem Stern wird.

Molekülionen werden meist unter sehr heißen Bedingungen erzeugt: Sie schwingen heftig und drehen sich sehr schnell.



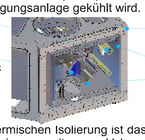
Vibration (ca. 1000 K) — Rotation (ca. 10-20 K)

Im Speicherring werden die Ionen solange aufgehoben bis sie durch Austausch von Wärmestrahlung die Temperatur des Strahlrohrs angenommen haben.

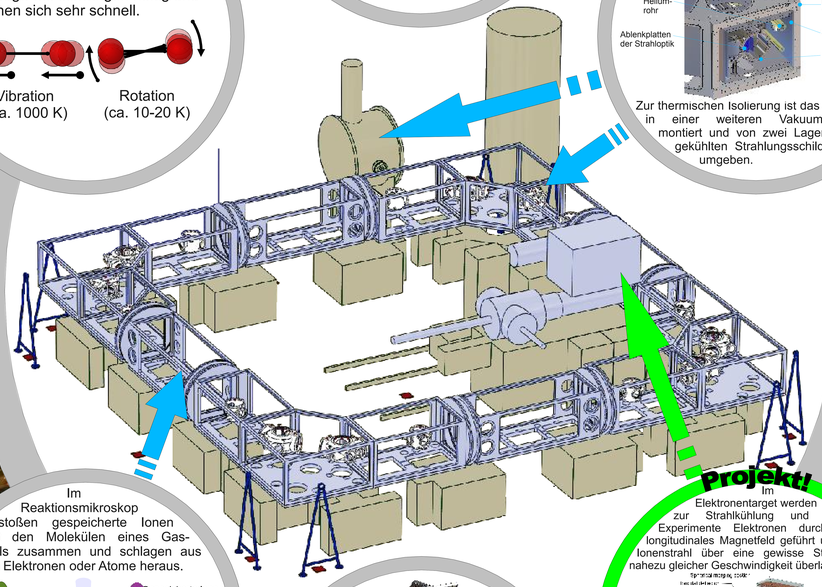
Bisherige Ringe wie der TSR arbeiten bei Raumtemperatur und können daher nur die Vibration kühlen. Der CSR wird hingegen zwischen 2-10 K kalt sein und auch die Rotation der Ionen kühlen, um die Präzision aller Messungen zu verbessern!

Durch Ausfrieren von Wasserstoff bei den niedrigen Temperaturen soll zusätzlich ein Druck von nur 10^{-15} mbar erreicht werden, so daß die Ionen auch erheblich länger gespeichert bleiben.

Der CSR besteht aus dem kalten Strahlrohr von 35 m Umfang, welches an vielen Stellen durch direkten Kontakt mit superflüssigem Helium (1,8 K) aus einer eigenen Verflüssigungsanlage gekühlt wird.



Zur thermischen Isolierung ist das Strahlrohr in einer weiteren Vakuumkammer montiert und von zwei Lagen von gekühlten Strahlungsschilden umgeben.



Der Bau des CSR wirft viele technische Fragen auf, z.B:

- Wie wird das flüssige Helium möglichst großflächig mit dem Strahlrohr in Kontakt gebracht?
- Bei welcher Temperatur wird das erforderliche Vakuum erreicht?
- Wie lang sind die erreichbaren Speicherzeiten tatsächlich?
- Bis zu welcher Temperatur kühlt die Rotation der gespeicherten Moleküle, bzw. gibt es Prozesse die dem entgegenwirken?

Um diese Fragen zu klären wurde in den letzten Jahren eine Strahlfalle als Prototyp des CSR gebaut.

In der cryogenen elektrostatischen Strahlfalle CTF wird ein Ionenstrahl von einigen keV Energie gespeichert, indem er zwischen zwei elektrostatischen Spiegeln hin und her reflektiert wird.

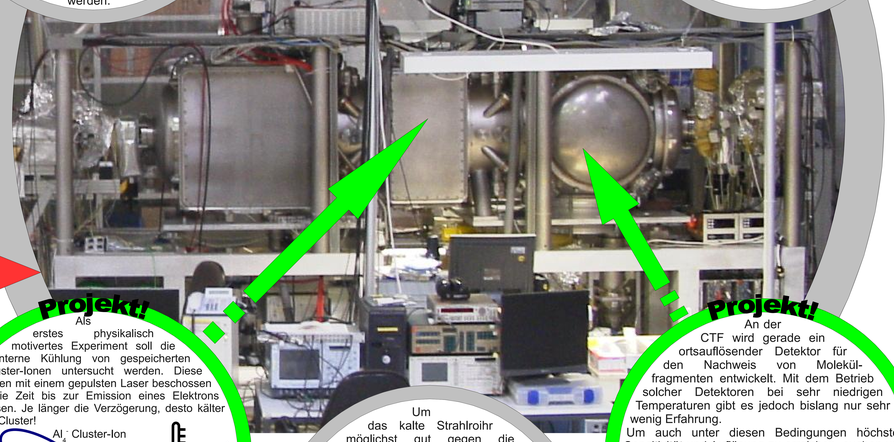
In der CTF wird Technik für den CSR erprobt, es sind aber auch Experimente mit (Bio-)Molekülen und Clustern geplant. Vorwiegend soll die Wechselwirkung mit Photonen aus einem derzeit im Aufbau befindlichen Lasersystem untersucht werden.

Projekt!

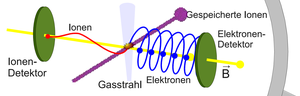
Um Platz für den Aufbau des CSR zu machen soll die Falle künftig in einem benachbarten Labor betrieben werden. Auch dort muß sie zur Kühlung konstant mit superflüssigem Helium versorgt werden.

Wir suchen daher einen an Kältetechnik interessierten Studenten, der zusammen mit einem Doktoranden die Erweiterung der existierenden Helium-Kühlanlage in Angriff nimmt. Weil das Helium bei 1,8 K nicht transportiert werden kann, wäre Deine Aufgabe bei diesem Projekt, beim Entwurf und Aufbau einer komplett neuen Anlage zu helfen in der das mit 5 K zugeführte normalflüssige Heliums auf die zum Betrieb nötigen 1,8 K unterkühlt wird.

Als CSR-Prototyp ist die Falle im Querschnitt ähnlich aufgebaut: das kalte Strahlrohr wird von der CSR-Kälteanlage mit flüssigem Helium versorgt und befindet sich, umgeben von einem doppelten Strahlungsschilde und Isolierfolie in einem Isoliervakuum:

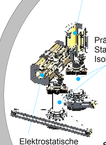


Im Reaktionsmikroskop stoßen gespeicherte Ionen mit den Molekülen eines Gasstrahls zusammen und schlagen aus diesen Elektronen oder Atome heraus.



Durch ein Magnetfeld sowie spezielle Detektoren werden Impulse und Richtungen aller am Stoß beteiligten geladenen Teilchen gemessen, um die Reaktion zu untersuchen.

Elektrostatische Strahlablenker

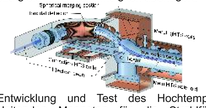


Anders als beim TSR wird der Ionenstrahl beim CSR durch elektrostatische Felder auf seiner Bahn gehalten und fokussiert.

Dadurch können erheblich schwerere Ionen gespeichert werden, es entsteht aber ein höherer technischer Aufwand, da alle Elemente der Strahloptik nun innerhalb der Vakuumkammer angebracht sind.

Projekt!

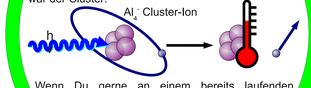
Im Elektronentarget werden zur Strahlkühlung und für Experimente Elektronen durch ein longitudinales Magnetfeld geführt und dem Ionenstrahl über eine gewisse Strecke mit nahezu gleicher Geschwindigkeit überlagert.



Für Entwicklung und Test des Hochtemperatursupraleitenden Magneten für die Strahlführung suchen wir noch eine(n) interessierte(n) Student/in. Wenn Du in einem kleinen Team eine anspruchsvolle Entwicklungsaufgabe übernehmen möchtest, ist das vielleicht genau das Richtige!

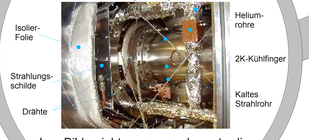
Projekt!

Als erstes physikalisch motivertes Experiment soll die interne Kühlung von gespeicherten Cluster-Ionen untersucht werden. Diese werden mit einem gepulsten Laser beschossen und die Zeit bis zur Emission eines Elektrons gemessen. Je länger die Verzögerung, desto kälter war der Cluster!



Wenn Du gerne an einem bereits laufenden Experiment eine Messung mit vorbereiten und durchführen möchtest, und Du dich für die Physik von Molekülen und Clustern oder auch für Lasermethoden interessierst, bist du hier richtig!

Um das kalte Strahlroihr möglichst gut gegen die Umgebung zu isolieren, ist es mit dünnen Stahldrähten an der Isolier-Vakuumkammer aufgehängt.



Im Bild sieht man auch gut die Multilagen-Folienisolierung der Strahlungsschilde und der Helium-Rohre.

Projekt!

An der CTF wird gerade ein ortsauflösender Detektor für den Nachweis von Molekülfragmenten entwickelt. Mit dem Betrieb solcher Detektoren bei sehr niedrigen Temperaturen gibt es jedoch bislang nur sehr wenig Erfahrung.

Um auch unter diesen Bedingungen höchste Sensitivität und Auflösung zu erreichen, suchen wir jemanden, der dabei hilft den Detektor in unser Datenaufnahmesystem einzufügen und erste Messungen damit durchzuführen, um so den Weg für den Einsatz am CSR zu ebnen. Wenn Dich ein Projekt in einem spannenden Umfeld interessiert, bei dem experimentelles Geschick, Elektronik- und Programmierkenntnisse gefragt sind, dann sprich uns an!

Ansprechpersonen für alle Projekte:

- Prof. Andreas Wolf
  Tel. 06221-516503
  A.Wolf@mpi-hd.mpg.de
- Dr. Robert von Hahn
  Tel. 06221-516396
  Robert.von.Hahn@mpi-hd.mpg.de
- Dr. Michael Lange
  Tel. 06221-516125
  Michael.Lange@mpi-hd.mpg.de

Im Internet:

- Abteilung Gespeicherte Kalte Ionen:
  http://www.mpi-hd.mpg.de/blaum/
- CSR:
  http://www.mpi-hd.mpg.de/blaum/storage-rings/csr/index.en.html
- CTF:
  http://www.mpi-hd.mpg.de/cryowiki/index.php/Main_Page

Max-Planck-Gesellschaft