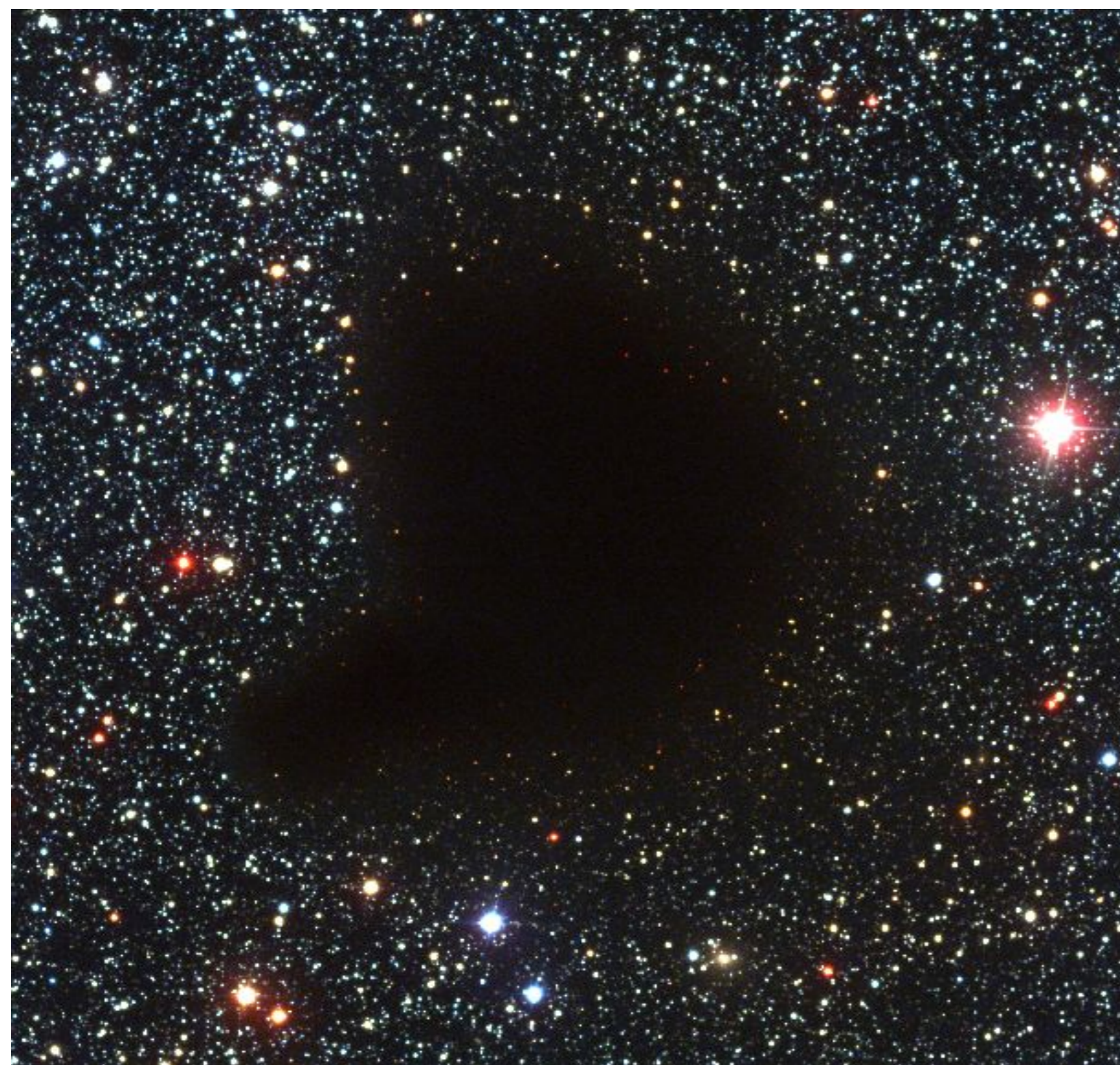


Molekulare Quantendynamik im Labor und in der Astrophysik



© SOFIR/ESA/ESA, April 1999
The "Black Cloud" B68 (VLT ANTU + FORSI)
© European Southern Observatory

CH⁺
CO⁺
SO⁺
CF⁺
H₃O⁺
HCO⁺, COH⁺
HCS⁺
HCNH⁺
H₂COH⁺
HC₃CNH⁺
...

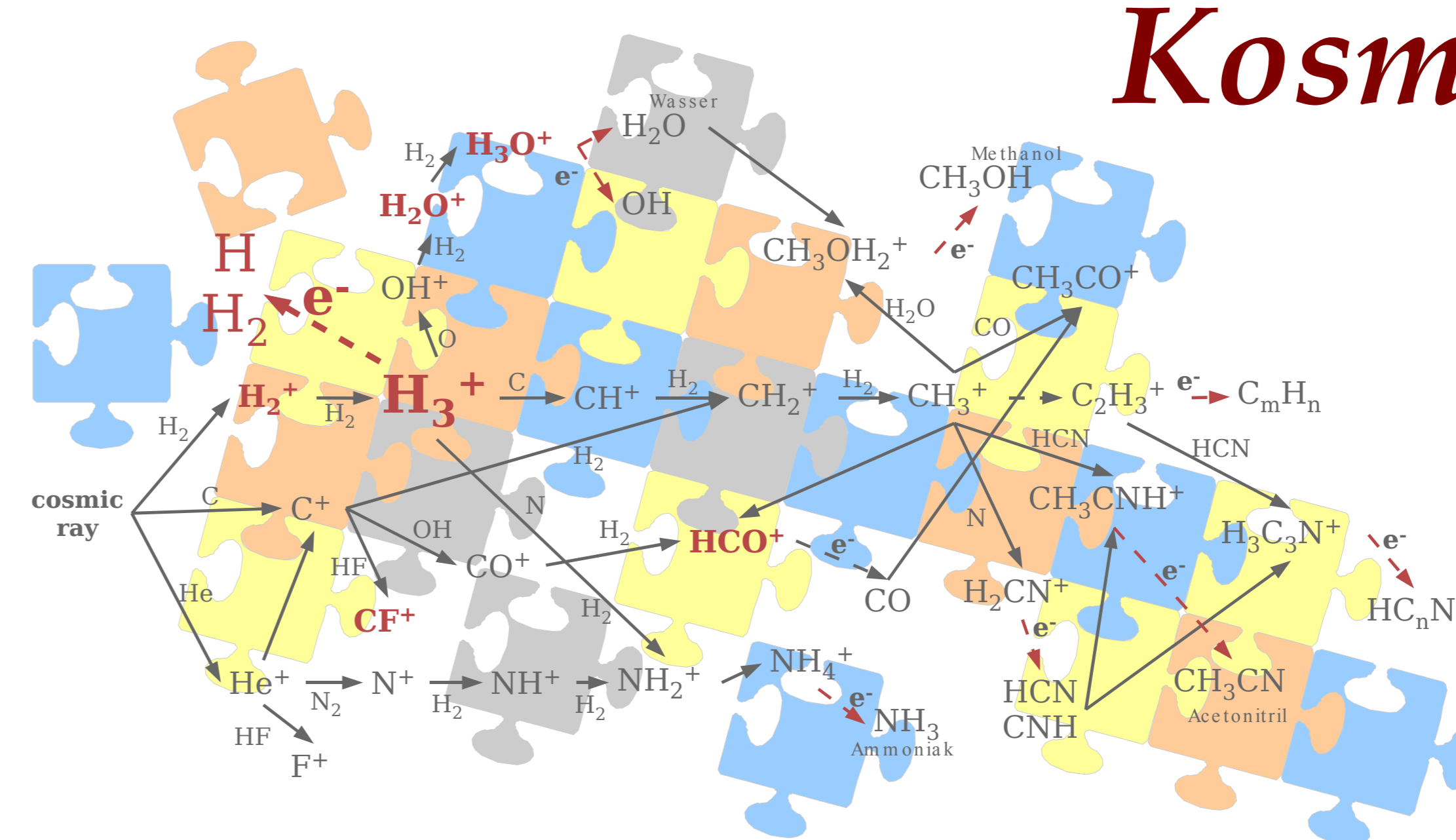
Kalte und heiße Ionen: Chemie in der Astrophysik

Das Universum beherbergt extrem kalte und extrem heiße Gebiete, die so außergewöhnlich sind, dass sie für unsere Kenntnisse über der Physik und Chemie eine Herausforderung darstellen. So zum Beispiel interstellare Wolken, die sehr kalt sind, aus sehr wenigen chemischen Elementen bestehen und eine geringe Dichte aufweisen. Es ist erstaunlich, dass in diesen kalten und leeren Umgebungen komplexe Moleküle oder sogar Planeten gebildet werden können. Anstelle traditioneller chemischer Reaktionen muss man fundamentale Teilchen-Teilchen Wechselwirkungen betrachten, um die interstellare Chemie zu erklären.

In heißen Regionen, bei 10000 Kelvin und mehr, entstehen üblicherweise Plasmen mit freien Ionen und Elektronen. Aber auch bei den tiefsten Temperaturen von etwa 10 Kelvin entstehen Ionen durch den Beschuss mit kosmischer oder Röntgenstrahlung. Kalte ionisierte Molekülwolken sind effiziente chemische Laboratorien. Noch bevor sie sich zu höheren Dichten zusammenballen erfolgen in den kalten Wolken Reaktionen unter Beteiligung geladener Teilchen, die viel effizienter sind als Reaktionen unter neutralen Teilchen.

Durch kalte Ionenchemie, die noch weitgehend unverstanden ist, bilden sich viele Verbindungen, bis hin zu Kohlenwasserstoff-Molekülen wie z.B. Alkoholen. Diese komplexen Verbindungen helfen bei der Kühlung der Molekülwolken bis hin zur Sternentstehung.

Kosmisches Puzzle



Aggressive Elektronen

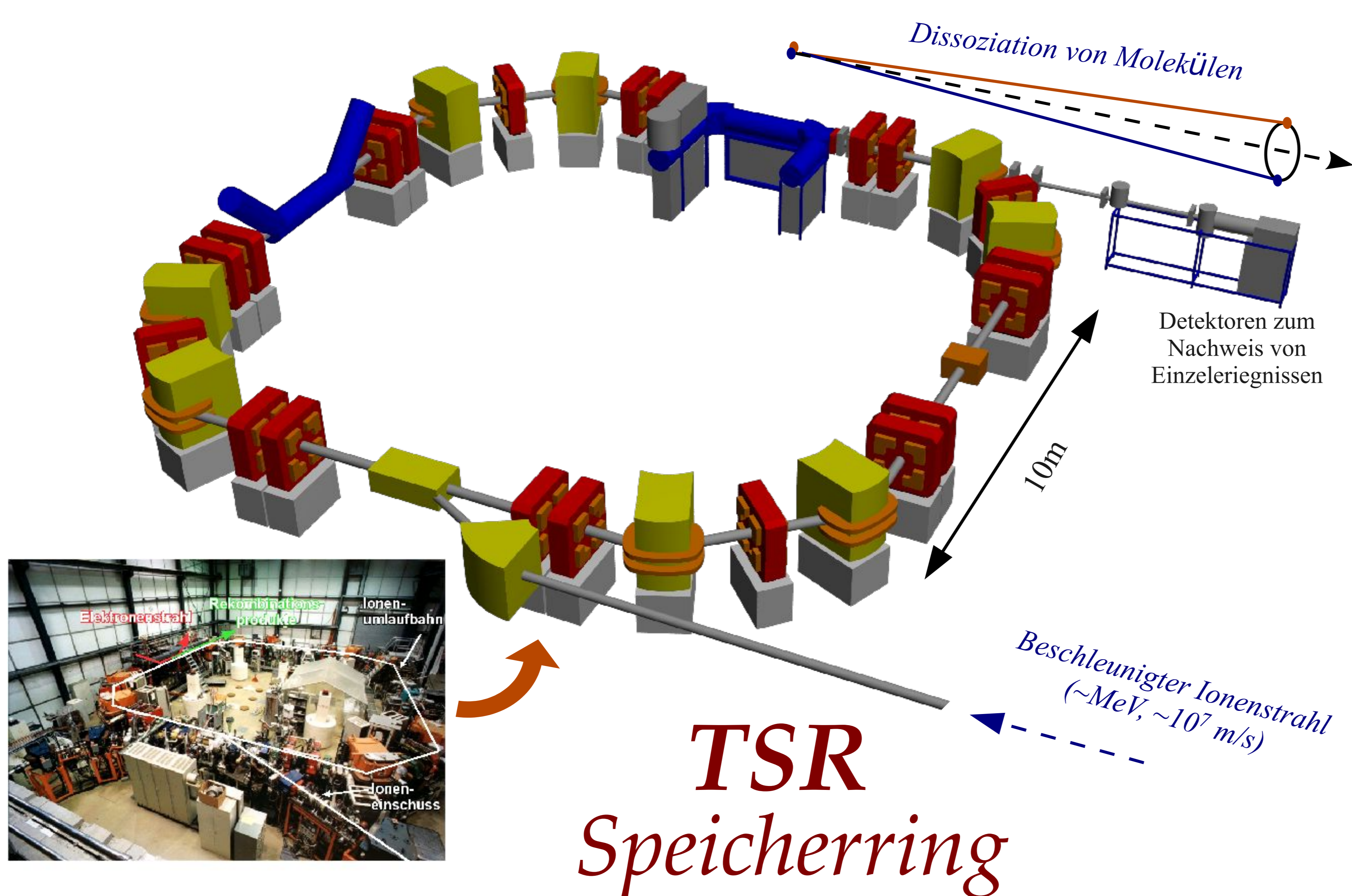
Elektronen zerlegen komplexe Molekül-Ionen und hinterlassen dabei zum Teil sehr reaktive Bruchstücke. Nicht zuletzt wegen dieser "radikalen" Produkte ist der Prozess in vielen Umgebungen wichtig; der Ionosphäre der Erde, technischen Plasmen, interstellaren Wolken, u.a. Daneben stellt er ein ideales Testlabor für die Quantenchemie dar. Man vergleicht theoretische Vorhersagen der Quantenphysik der Moleküle mit den Ergebnissen präziser Laborexperimente.

Eine wichtige Rolle spielt dabei die Identifikation der Bruchstücke in Einzelreaktionen. Zusätzlich setzen die Ionenreaktionen mit Elektronen viel Energie in Form von innerer Anregung (Vibrationen und Rotationen) und schneller Bewegung der Produkte frei. Experimente an Speicherringen und Ionenfallen liefern wertvolle Antworten auf die damit verbundenen Fragen.

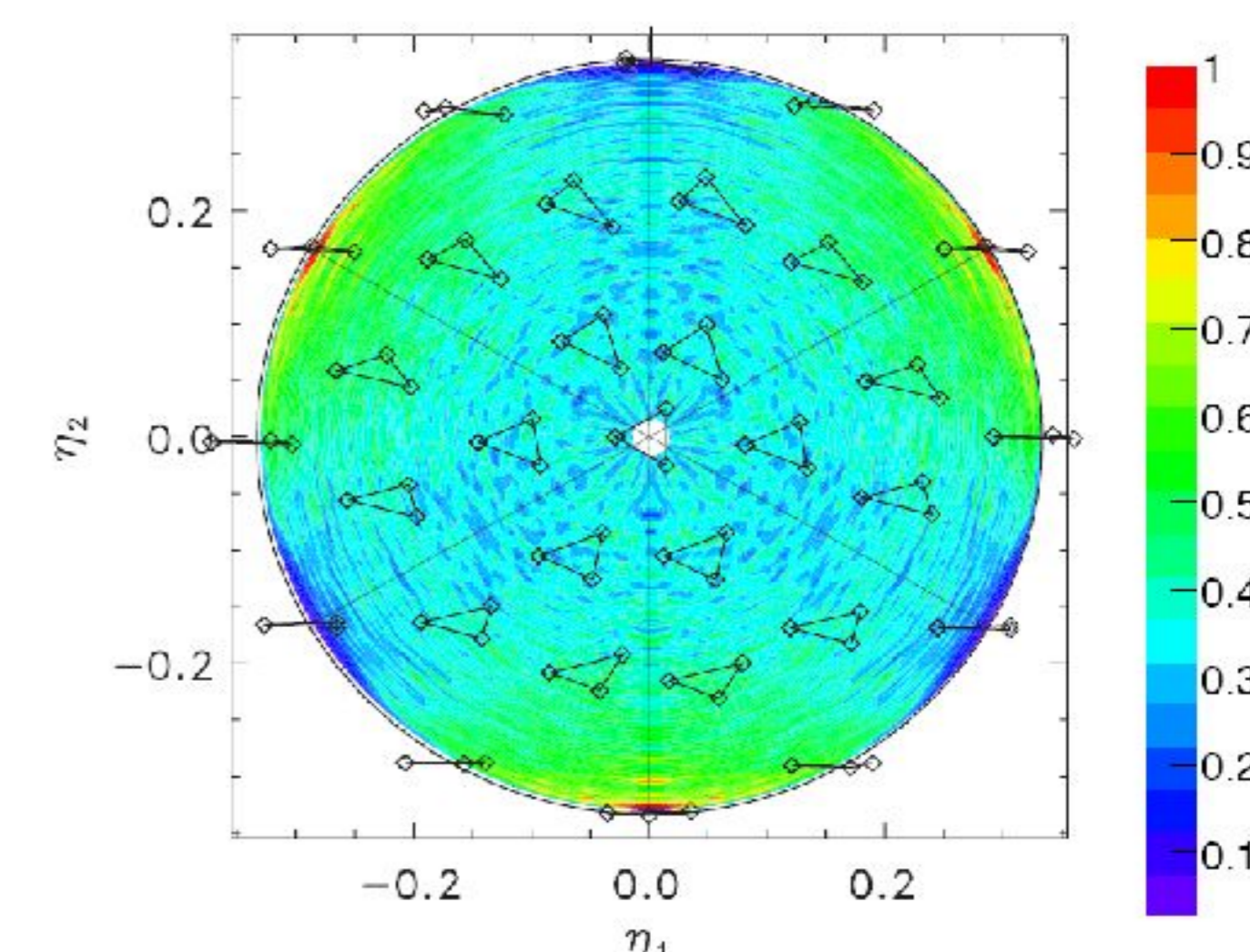
Einzelreaktionen abgebildet

Experimente mit gespeicherten Ionen ermöglichen einzelne Prozesse aus dem Weltraum im Labor genauer unter die Lupe zu nehmen. Durch Zählen und Abbilden einzelner Atome und Moleküle lassen sich diese Prozesse in den Experimenten untersuchen. Das MPI-K hat weltweit einzigartige Techniken entwickelt, um ein kaltes „Elektronengas“ für die Untersuchung von Reaktionen zwischen Elektronen und Molekül-Ionen zu realisieren.

Die schnellen, elektrisch geladenen Atome und Moleküle aus dem Heidelberger Beschleuniger werden im Schwerionen-Speicherring TSR minutenlang auf einer 55 Meter langen Umlaufbahn gespeichert. Speziell angefertigte Detektoren (DEMON, EMU, und andere) messen die Bruchstücke und deren Eigenschaften.



TSR Speicherring



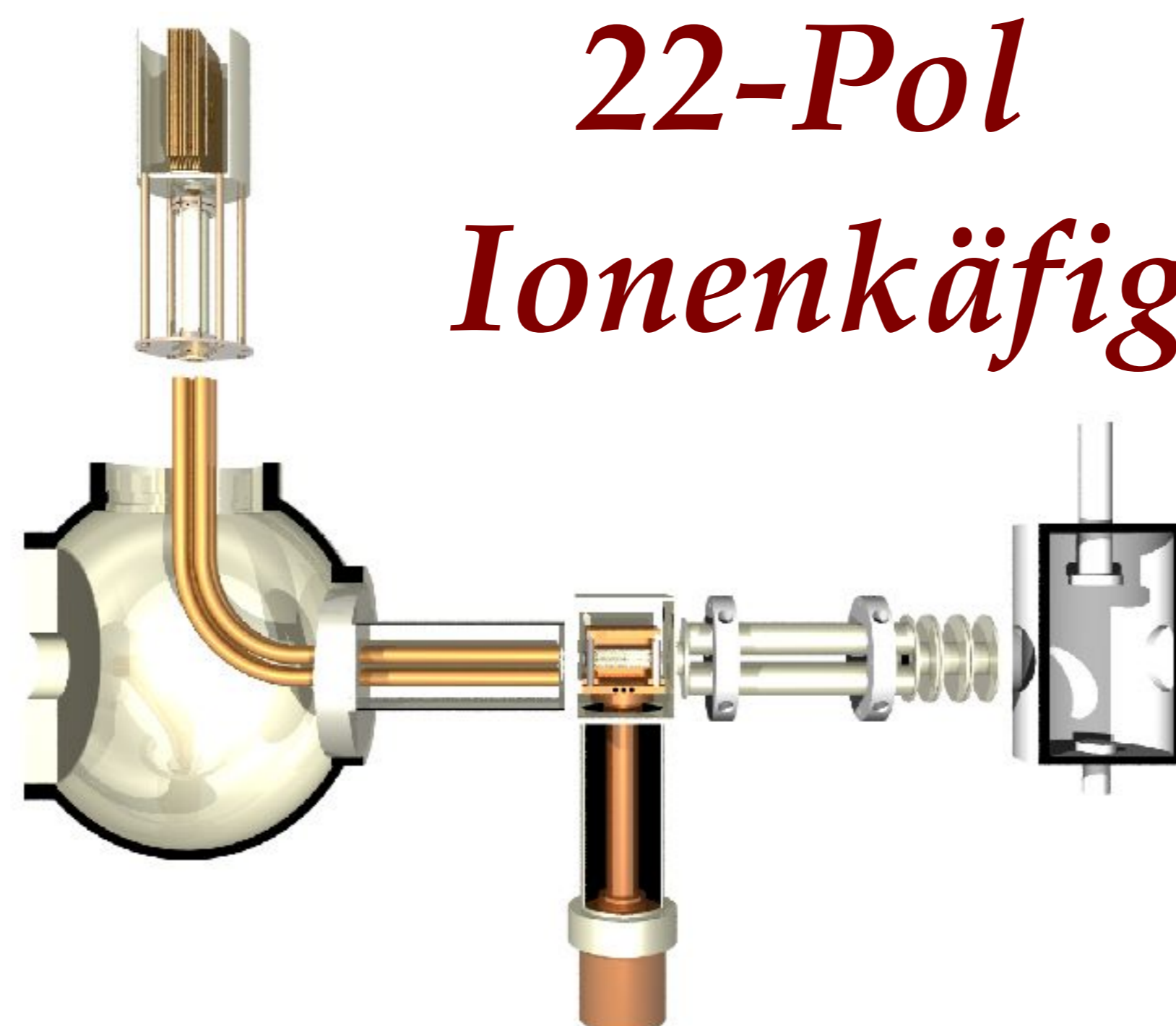
Beispiel: Dreieck oder Linie - in welcher Form zerfällt der dreiatomige Wasserstoff? Die meisten Ereignisse im Häufigkeitsbild (ca. 50000 Schnappschüsse von Einzelreaktionen) deuten auf eher lineare Formen hin.

Ionenspeicher

Im Speicherring TSR werden sowohl heiße als auch kalte Ionen untersucht. Heiße Ionen sind relativ einfach in einem Plasma herzustellen, während es eine große Herausforderung ist, extrem kalte Ionen (~10 K) zu produzieren. Dazu benutzt man spezielle Kühlprozesse wie Kühlung mittels kalter Elektronen oder eine besondere Quelle wie den 22-Pol Ionenkäfig.

Der 22-Pol Ionenkäfig ist eine Kältemaschine für 10 bis 70 K und erzeugt Wechselfelder die Ionen an bestimmten Positionen fest halten kann. Vereinigt mit dem TSR, können Reaktionen zwischen kalte Ionen und kalte Elektronen untersucht werden. Unabhängig vom TSR können aber auch die Eigenschaften der kalten Ionen selbst nachgeforscht werden. So können z.B. mikroskopischen Bindungskräfte getestet werden um die Quantenphysik hinter den Teilchenwechselwirkungen besser zu verstehen.

22-Pol Ionenkäfig



Um die Bedingungen des Weltraums im Labor noch besser imitieren, wird im Zukunft der ultrakalte Speicherring gebaut, der CSR. Dieser Speicherring soll Molekülen noch besser kühlen und kühler halten (siehe Poster über CSR).

CSR Speicherring

