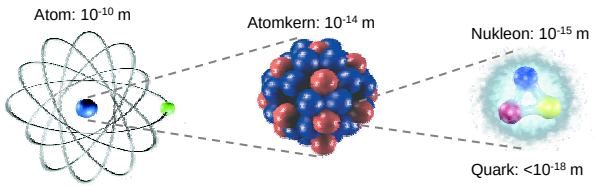
Welche Eigenschaften hat dichte Kernmaterie?
Das "**C**ompressed **B**aryonic **M**atter"-Experiment

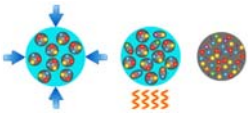
Experimente mit Kernmaterie

Die uns umgebende Materie besteht aus Atomen, deren Masse im Atomkern konzentriert ist. Die Bausteine des Atomkerns sind Protonen und Neutronen (sog. Nukleonen), die wiederum aus je 3 Quarks zusammengesetzt sind. Quarks sind Elementarteilchen, die nicht isoliert existieren, sondern nur als 3-er Gruppen oder als Quark-Antiquark Paare (sog. Mesonen). Dieses Phänomen nennt man "Confinement". Die Quarks werden durch die sog. Starke Kraft aneinandergefesselt und bilden so die Nukleonen und schließlich die Atomkerne.



Fundamentale Fragen der modernen Physik

- Welche Eigenschaften hat Kernmaterie? Ist sie eher "hart" oder "weich"?
- Was passiert, wenn man sie komprimiert oder erhitzt?
- Verschmelzen dabei die Nukleonen zu Quarkmaterie?



- Aus welchen Teilchen besteht das Innere eines Neutronensterns?
- Verändern Teilchen ihre Eigenschaften, wenn sie sich in dichter Kernmaterie befinden?
- Warum ist die Masse eines freien Nukleons etwa 50 mal größer als die Masse seiner Bestandteile (der 3 Quarks)?
- Warum gibt es keine freien Quarks?

Das Ziel der geplanten Experimente mit hochenergetischen und sehr intensiven Schwerionen-Strahlen ist, auf all diese (und viele andere) Fragen eine Antwort zu suchen. Die FAIR Beschleunigeranlage bietet dafür weltweit einmalige Voraussetzungen.

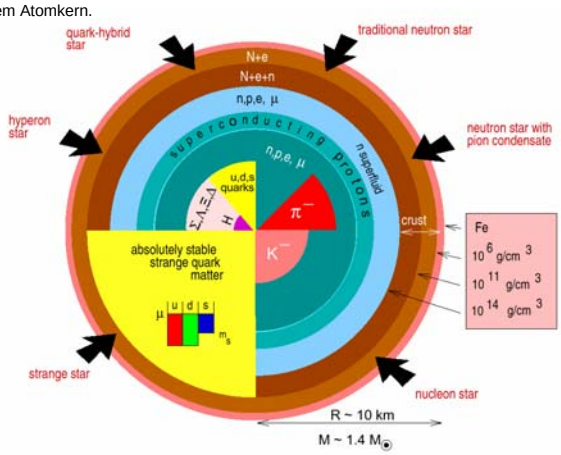
Dichte Kernmaterie im Universum

Krebsnebel

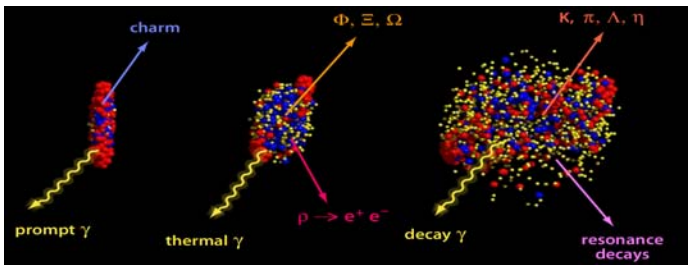
Reste einer Supernova-Explosion, die im Jahre 1054 von chinesischen Astronomen beobachtet wurde. Der "Besucher-Stern" leuchtete damals einen Monat lang so hell wie der Vollmond. Im Zentrum des Nebels wurde 1968 der erste Pulsar (Neutronenstern) entdeckt, der 30 mal pro Sekunde rotiert.

Modell eines Neutronensterns

Der Durchmesser eines Neutronensterns mit einer Sonnenmasse beträgt etwa 20 km. Zum Vergleich: der Durchmesser unserer Sonne beträgt 1.4 Mio km. Ein Neutronenstern besteht aus Kernmaterie, deren Dichte im Zentrum 5 – 10 mal so hoch ist wie in einem Atomkern.



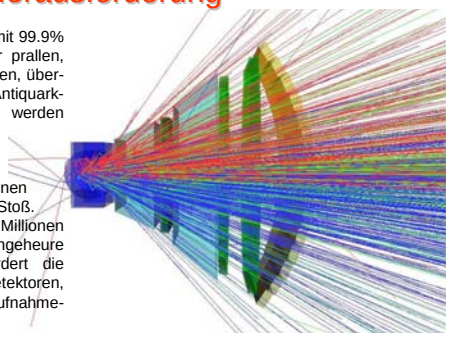
Dichte Kernmaterie im Labor



In der Kollision zweier schwerer Atomkerne wird Kernmaterie komprimiert. Je nach Kollisionsenergie werden in der Reaktionszone Dichten erreicht, wie sie in Supernova-Explosionen (bis zu 3-facher Kerndichte) oder in Neutronensternen (bis zu 10-facher Kerndichte) auftreten. In diesem "Feuerball" wird eine Vielzahl neuer Teilchen erzeugt, die auch schwere Quarks enthalten können. Diese teilweise sehr kurzlebigen Teilchen werden mit Detektoren nachgewiesen. Ihre Art, Zahl und Energie liefert Informationen über die Verhältnisse im Feuerball. Von besonderem Interesse ist die Frage, ob die Materie im Zentrum des Feuerballs so stark komprimiert oder erhitzt ist, dass sich die Kernmaterie in Quarkmaterie umwandelt. In diesem sog. Plasma könnten sich die Quarks frei bewegen, ohne in Nukleonen oder Mesonen gebunden zu sein. Weiterhin wird untersucht, ob sich Eigenschaften der Teilchen, z.B. deren Massen, ändern. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf den Prozess der Massen-Erzeugung ziehen.

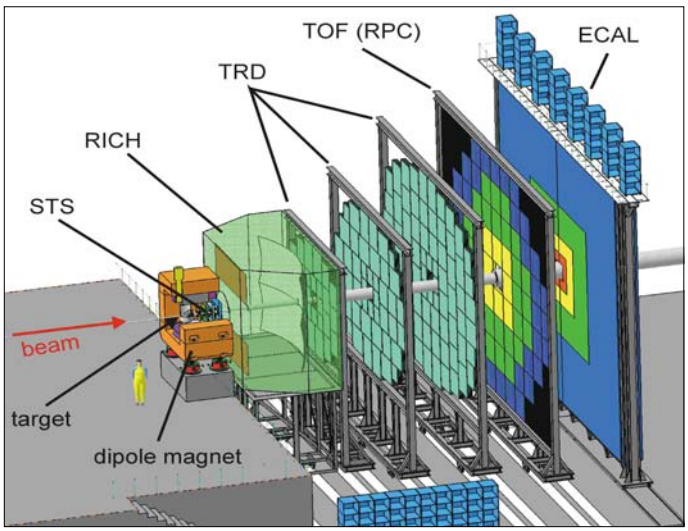
Experimentelle Herausforderung

Im Stoß zweier Gold-Kerne, die mit 99.9% Lichtgeschwindigkeit aufeinander prallen, entstehen über 1000 neue Teilchen, überwiegend Mesonen (Quark-Antiquark-Paare), die alle nachgewiesen werden sollen.



Das Bild zeigt die simulierten Bahnen der Teilchen aus einem einzigen Stoß. In einer Sekunde finden 10 Millionen solcher Ereignisse statt. Diese ungeheure Teilchen- und Datenrate erfordert die Entwicklung neuartiger Detektoren, Auslese-Elektronik und Datenaufnahme-Systeme.

Das "**C**ompressed **B**aryonic **M**atter"-Experiment



CBM-Kollaboration: 46 Institute, 400 Mitglieder

Kroatien:
RBI, Zagreb

China:
Wuhan Univ.
Hefei Univ.

Tschechien:
CAS, Rez
Techn. Univ. Prag

Frankreich:
IPHP Strasbourg

Deutschland:
Univ. HD, Phys. Inst.
Univ. HD, Kirchh. Inst.
Univ. Frankfurt
Univ. Kaiserslautern
Univ. Mannheim
Univ. Münster
FZ Rossendorf
GSI Darmstadt

Ungarn:
KFKI Budapest
Eötvös Univ. Budapest

Norwegen:
Univ. Bergen

Polen:
Univ. Krakau
Univ. Warschau
Univ. Kattowitz
Jag. Univ. Krakau

Portugal:
LIP Coimbra

Rumänien:
NIPNE Bukarest

Russland:
IHEP Protvino
INR Troitzk
ITEP Moskau
KRI, St. Petersburg
Kurchatov Inst., Moskau
LHE, JINR Dubna
LPP, JINR Dubna
LIT, JINR Dubna
MEPHI Moskau
Obninsk State Univ.
PNPI Gatchina
SINP, Moskau State Univ.
St. Petersb. Polytec. Univ.

Indien:
IOP Bhubaneswar
Univ. Chandighar
VECC Kalkutta, SAHA Kalkutta
IIT Kharagpur
Univ. Varanasi

Korea:
Korea Univ. Seoul
Pusan Nat.Univ.

Ukraine:
Shevshenko Univ. Kiev

Cypern:
Nikosia Univ.

GSI