

ALICE

Das ALICE Experiment

Eine Reise zum Ursprung des Universums ...

Was geschieht mit Materie, wenn man sie auf das 100.000-fache der Temperatur im Zentrum der Sonne erhitzt?

Warum wiegen Protonen und Neutronen mehr als das 100-fache der Quarks aus denen sie bestehen?

Können die Quarks aus Protonen und Neutronen befreit werden?

ALICE sucht mit Hilfe eines außergewöhnlichen Werkzeugs Antworten auf diese Fragen – mit dem LHC (Large Hadron Collider), dem größten Teilchenbeschleuniger der Welt.

CERN wurde im Jahr 1954 gegründet. Sie ist ein Paradebeispiel internationaler Zusammenarbeit mit derzeit mehr als 20 Mitgliedsstaaten. CERN ist das größte Teilchenphysiklabor der Welt und hat seinen Sitz an der französisch-schweizerischen Grenze nahe Genf.



ALICE



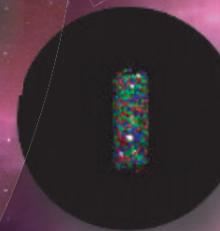
www.cern.ch



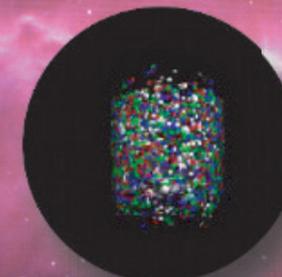
Zwei schwere Atomkerne nähern sich fast mit Lichtgeschwindigkeit. Nach Einsteins Relativitätstheorie erscheinen sie wie kleine, sehr dünne Scheiben.



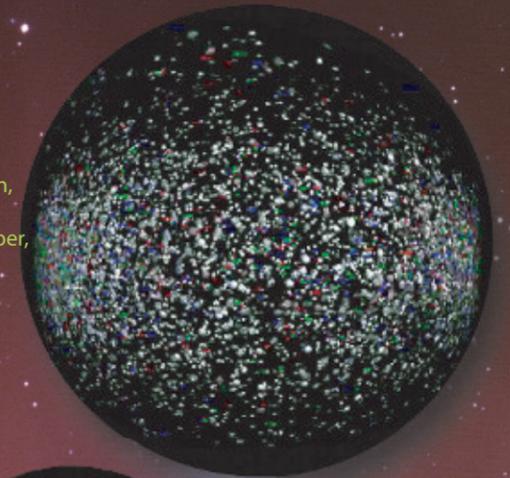
Die Kerne kollidieren und die dabei erzeugte extrem hohe Temperatur setzt die Quarks (rot, blau und grün) und Gluonen frei.



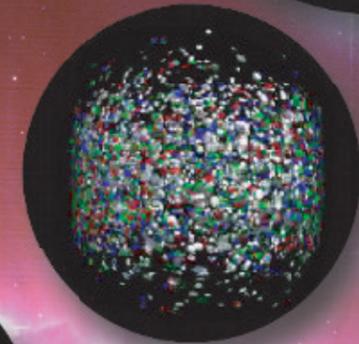
Quarks und Gluonen kollidieren miteinander und erzeugen ein Medium im thermischen Gleichgewicht: das Quark-Gluon Plasma.



Tausende neuer Teilchen, die auf diese Weise erzeugt wurden, bewegen sich in Richtung der Detektoren (Simulation: H. Weber, URQMD, Frankfurt)



Das Plasma expandiert und kühlt dabei auf eine Temperatur von etwa 2 Billionen Grad ab, bei der sich Quarks und Gluonen wieder zu normaler Materie binden, gerade mal $\sim 10^{-23}$ Sekunden nach dem Zusammenstoß der Atomkerne.



Die Starke Kraft

Normale Materie ist aus Atomen zusammengesetzt. Diese bestehen aus einem Atomkern, der von einer Elektronenwolke umgeben ist. Atomkerne wiederum bestehen aus Protonen und Neutronen, die ihrerseits aus Quarks zusammengesetzt sind. Nach heutigem Wissen stellen Quarks die fundamentalen Bausteine der Materie dar.

Quarks werden durch eine Kraft innerhalb der Protonen und Neutronen gebunden, die als Starke Kraft bekannt ist und durch den Austausch von Trägerteilchen – den Gluonen – wirkt. Die Starke Kraft ist auch dafür verantwortlich, Protonen und Neutronen im Atomkern zusammenzuhalten.

Obwohl ein Großteil der Physik der Starke Kraft heute gut verstanden ist, bleiben zwei grundlegende Fragen offen: Warum treten Quarks nur paarweise oder in Dreiergruppen auf (Confinement) und wie funktioniert der Mechanismus, der den Teilchen Masse gibt. Die Antworten auf beide Fragen hängen vermutlich damit zusammen, wie die Starke Kraft auf ein Vakuum wirkt.

Confinement

Noch nie wurde ein Quark alleine beobachtet: Quarks und Gluonen scheinen permanent aneinander gebunden und in zusammengesetzte Teilchen wie Protonen oder Neutronen eingesperrt zu sein. Diesen Effekt, dessen exakter Mechanismus und Ursprung noch unbekannt sind, nennt man Confinement.

Der Ursprung von Masse

Protonen und Neutronen bestehen aus drei Quarks. Tatsächlich entspricht die Summe der Massen dieser drei Quarks aber nur etwa 1% der Masse des Protons oder Neutrons. Woher kommen die restlichen 99%? Ist der Mechanismus, der Quarks in Protonen und Neutronen einsperrt, auch für den Ursprung der Masse normaler Materie verantwortlich?

Freie Quarks und Gluonen

Die gegenwärtige Theorie der Starke Wechselwirkung (genannt Quantenchromodynamik) sagt vorher, dass bei sehr hohen Temperaturen und sehr hohen Dichten die Quarks und Gluonen nicht mehr in zusammengesetzten Teilchen eingesperrt sind. In diesem Fall müssten sie frei in einem neuen Aggregatzustand der Materie – dem Quark-Gluon Plasma – existieren.

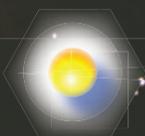
Dieser Übergang sollte auftreten, wenn die Temperatur einen kritischen Wert überschreitet, der etwa bei 2.000 Milliarden Grad liegt – 100.000 mal heißer als das Innere der Sonne. Derartige Temperaturen sind in der Natur seit dem Urknall nicht mehr vorgekommen. Heute glaubt man, dass einige millionstel Sekunden nach dem Urknall die Temperatur über diesem kritischen Wert lag und sich das gesamte Universum im Zustand eines Quark-Gluon Plasmas befand.

Zurück zum Anfang

Kann dieses Szenario experimentell untersucht werden? Können derart extreme Bedingungen im Labor nachgestellt werden?

Durch die Kollision schwerer Kerne (wie beispielsweise Bleikernen), die durch den LHC annähernd auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden, sollten wir in der Lage sein, in einem sehr kleinen Volumen, nur etwa der Größe eines Atomkerns und auch nur für sehr kurze Zeit, eine kleine Probe dieser uralten Materie herzustellen. Außerdem wollen wir beobachten, wie sie sich ausdehnt und abkühlt und sich dabei wieder in normale Materie umwandelt.

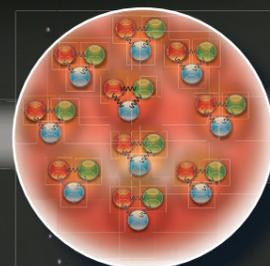
Durch das Studium derartiger Kollisionen am LHC wird ALICE in der Lage sein, tiefer in die Physik des Confinements einzudringen, die Eigenschaften des Vakuums und den Ursprung der Masse zu untersuchen und eine Vorstellung davon zu bekommen, wie sich Materie unmittelbar nach dem Urknall verhalten hat.



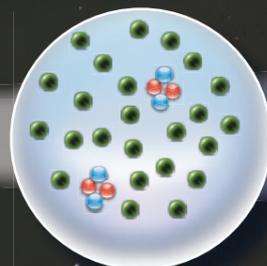
Urknall
Temperatur
Zeit



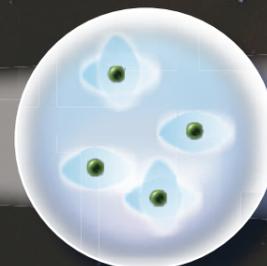
Quark-gluon plasma
< 10 Mikrosekunden



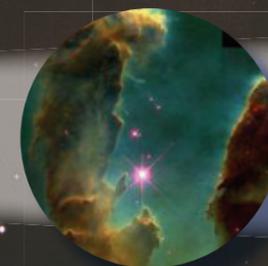
Bildung von Protonen
und Neutronen
2 Billionen Kelvin
40 Mikrosekunden



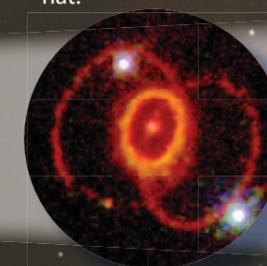
Bildung leichter Kerne
500 Millionen Kelvin
3 Minuten



Bildung neutraler Atome
1000 Kelvin
380.000 Jahre



Die ersten Sterne
entstehen
25 Kelvin
200 Millionen Jahre

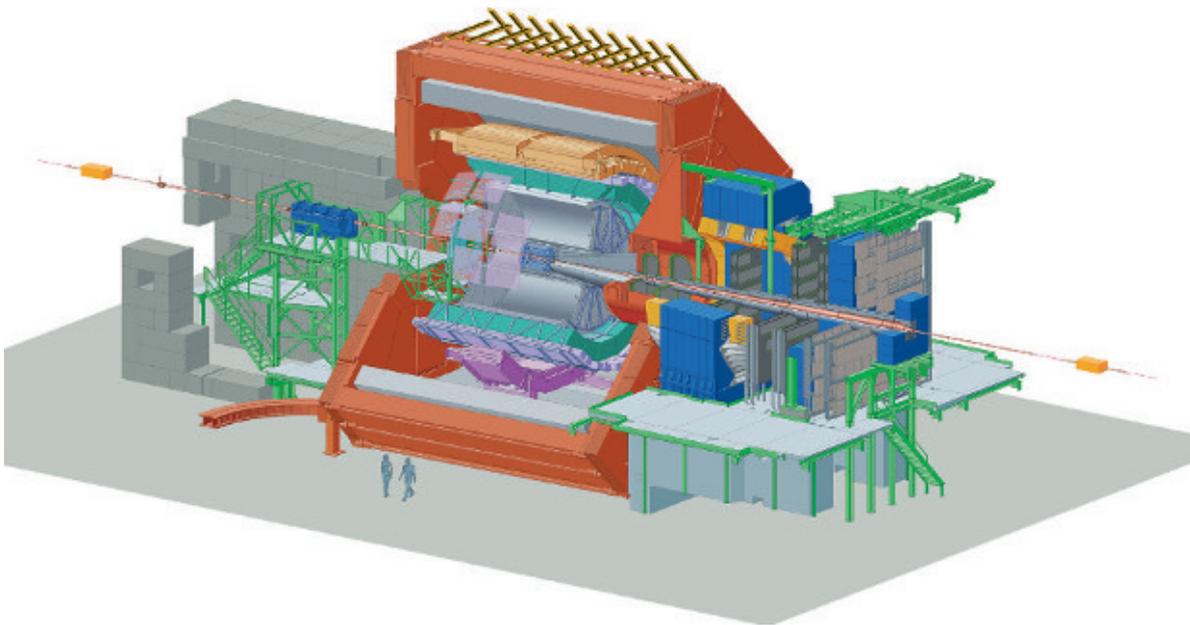


Galaxien entstehen
< 25 Kelvin
> 200 Millionen Jahre



Heute
2.7 Kelvin
13.7 Milliarden Jahre

Der Detektor



Mit einem Gewicht von 10.000 Tonnen, einer Höhe von 16 Metern und einer Länge von 26 Metern ist ALICE ein großer und komplexer Detektor, der aus 18 Sub-Detektoren besteht. Er verfolgt und identifiziert die Zehntausende von Teilchen, die in einer Kollision schwerer Atomkerne entstehen. Um die etwa 8.000 Kollisionen pro Sekunde aufzeichnen zu können, nutzt der ALICE Detektor modernste Technologien:

- Hochpräzise Systeme für den Nachweis von Teilchen und deren Spurverfolgung
- Höchstintegrierte und ultraminiaturisierte Komponenten für die elektronische Signalverarbeitung
- Weltweiter Zusammenschluss von Computern für die Datenanalyse (das „Grid“)

Eine Internationale Kollaboration



ALICE zählt mehr als 1.200 Mitglieder, davon etwa 350 Promovierende, die an einem der 132 Physik Institute aus 36 Ländern arbeiten. Eine breite Vielfalt an Fähigkeiten ist notwendig, um ein Experiment dieser Größe zu bauen und zu betreiben.



CERN
CH-1211 Geneva 23

Kommunikationsgruppe
November 2012
CERN-Brochure-2012-007-Ger



Bildnachweis:
Deckblatt, Galaxie: NASA, ESA, CXC, and JPL-Caltech
Innen, Hintergrund: T.A.Rector (NOAO/AURA/NSF) and Hubble Heritage Team (STScI/AURA/NASA)
Innen, Sterne: J. Hester and P. Scowen (Arizona State University), NASA/ESA/STScI
Innen, Galaxie: Christopher Burrows, NASA/ESA/STScI
Innen, Atomaufbau: André-Pierre Olivier
ALICE Fotos: Antonio Saba and CERN



<http://aliceinfo.cern.ch/Public/>