

für die Untersuchung solcher Prozesse optimiert, mit dem Ziel Messungen zu machen, die dabei helfen den Materieüberschuss des Universums zu verstehen.

Neben normaler Materie muss es nach heutiger Kenntnis noch einen etwa fünfmal mal größeren Anteil von sogenannter Dunkler Materie geben, deren Natur gegenwärtig aber völlig ungeklärt ist. Falls es sich dabei um bisher unentdeckte Elementarteilchen handelt, dann könnten diese auch die Zerfälle von B-Mesonen beeinflussen, und durch genaue Messungen würde man ihnen auf die Spur kommen. Generell geht es darum, in Präzisionsmessungen Unterschiede zu Vorhersagen des Standardmodells zu finden, die dabei helfen, die derzeit ungelösten Fragen der Teilchenphysik zu beantworten. Dies umfasst auch Tests der CPT-Symmetrie, z. B. anhand von Massendifferenzen zwischen Teilchen und Antiteilchen, oder Tests der Lorentz-Invarianz in Hochenergiereaktionen. Beide Fragestellungen werden am MPIK bearbeitet.

### Quark-Gluon-Plasma und Luftschauder

Eine weitere ungeklärte Frage ist, welche Eigenschaften die Materie im Universum unmittelbar nach dem Urknall und noch vor der Entstehung der Kernbausteine (Protonen und Neutronen) auszeichneten. Dieser Zustand lässt sich in hochenergetischen Kollisionen von Bleikernen erreichen. Ein Problem in der Charakterisierung dieses sogenannten Quark-Gluon-Plasmas ist allerdings, dass die Eigenschaften normaler Kernmaterie nicht hinreichend genau bekannt sind. Untersuchungen von Proton-Blei-Stößen bei LHC liefern dazu wichtige neue Erkenntnisse, da hier der Einfluss der Kernmaterie messbar ist, aber kein Quark-Gluon-Plasma erzeugt wird.

Diese Art von Messungen wird auch gebraucht um zu verstehen, was passiert wenn ein Teilchen der kosmischen Strahlung auf die Erdatmosphäre trifft und dort in Kollisionen mit Stickstoff- oder Sauerstoffkernen Sekundärteilchen produziert, die ihrerseits wieder mit Luftmolekülen zusammenstoßen und weitere Teilchen erzeugen. In solchen Luftschaudern treten Reaktionen bei sehr verschiedenen Energieskalen auf. Während man die hochenergetischen Prozesse in Kollisionen zwischen den im LHC umlaufenden Strahlteilchen untersuchen kann, erlauben Kollisionen zwischen Strahlteilchen und ruhenden Kernen, auch Prozesse bei kleineren Energien zu studieren. Auch hier ist das MPIK involviert.

### Ansprechpartner:

Prof. Dr. Michael Schmelling  
Tel: 06221 516511  
E-Mail: michael.schmelling@mpi-hd.mpg.de

Prof. Dr. Jim Hinton  
Tel.: 06221 516140  
E-Mail: jim.hinton@mpi-hd.mpg.de



# Das LHCb-Experiment

## Präzisionsphysik bei höchsten Energien



Saupfercheckweg 1  
69117 Heidelberg

[www.mpi-hd.mpg.de](http://www.mpi-hd.mpg.de)



Das Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) ist eines von 86 Instituten und Forschungseinrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft. Das MPIK betreibt experimentelle und theoretische Grundlagenforschung auf den Gebieten der Astroteilchenphysik und der Quantendynamik.



MAX-PLANCK-INSTITUT  
FÜR KERNPHYSIK

# Das LHCb-Experiment

## Präzisionsphysik bei höchsten Energien

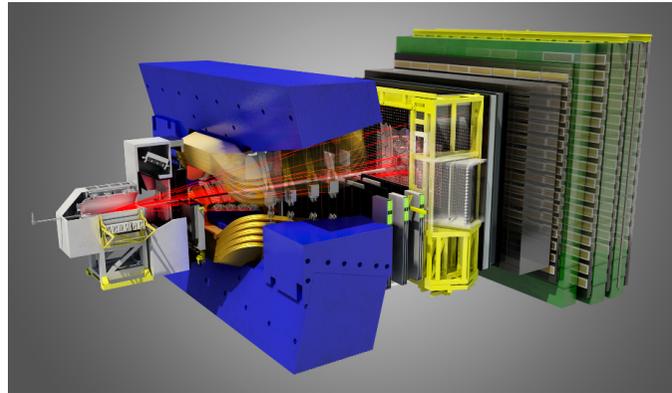
Der Large Hadron Collider (LHC) des CERN in Genf ist der zur Zeit leistungsfähigste Beschleuniger der Welt. Das LHCb-Experiment nutzt den LHC für ein breites Spektrum von Präzisionsmessungen und Tests fundamentaler Symmetrien, mit dem Ziel die Grenzen des Standardmodells der Teilchenphysik auszuloten. Es geht darum zu verstehen, wie das Universum vor der Entstehung der Kernbausteine aussah, warum vom Urknall keine Antimaterie im Universum übrig geblieben ist, was die Natur der Dunklen Materie ist, aber auch was in Wechselwirkungen von Teilchen der kosmischen Strahlung mit der Erdatmosphäre passiert.

### Der LHC und das LHCb-Experiment

Der LHC-Speicherring hat einen Umfang von 27 km, liegt ca. 100 m unter der Erde und erlaubt es, in vier Wechselwirkungszonen Protonen (Wasserstoffkerne) oder Kerne schwerer Ionen, wie Blei oder Xenon, mit zuvor unerreichter Energie zur Kollision zu bringen. Die kinetische Energie der in zwei gegenläufigen Strahlen gespeicherten Teilchen ist bis zu 7000 mal größer als ihre Ruheenergie. Die Teilchen bewegen sich dabei mit einer Geschwindigkeit von mehr als 99,99999% der Lichtgeschwindigkeit. Bis zu 40 Millionen mal pro Sekunde kommt es in den Wechselwirkungszonen zu Zusammenstößen, in denen ein Teil der Bewegungsenergie in neue, auch bisher unbekannte, Teilchen umgewandelt wird. In Kollisionen von Bleikernen können pro Wechselwirkung mehr als 10000 neue Teilchen entstehen.

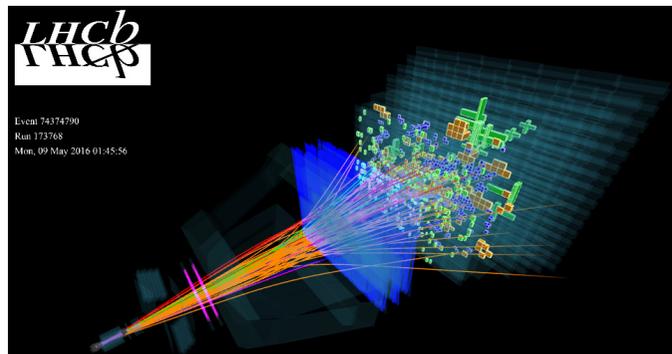
LHCb ist eines der vier großen LHC-Experimente und wird in internationaler Zusammenarbeit von über 1400 Wissenschaftlern aus 88 Instituten in 18 Ländern betrieben. Der LHCb-Detektor besteht aus einem Magnetspektrometer zum Nachweis geladener Teilchen, Kalorimetern für neutrale Teilchen sowie Tscherenkow-Detektoren und Myon-System zur Teilchenidentifizierung. Zwischen 2010 und 2018 wurden von LHCb über 5000 Milliarden Kollisionen registriert und ein Teil davon für die weitere Analyse gespeichert. Die Analyse geschieht im weltweiten Computing-Grid auf Tausenden von vernetzten CPUs und Speichersystemen. Im Frühjahr 2022

wird eine deutlich verbesserte Version des LHCb-Detektors, mit einem wesentlich leistungsfähigeren Filtersystem zur Selektion und Speicherung interessanter Ereignisse, bei fünfmal größerer Strahlintensität in Betrieb gehen.



Aufbau des ca. 20 m langen und 10 m hohen LHCb-Detektors. Der Kollisionspunkt ist links des Spektrometermagneten (blau). Auf beiden Seiten sind Teile des Spurfindungssystems und die Tscherenkow-Detektoren zu sehen, ganz rechts Kalorimeter und Myon-System. (Das Titelbild zeigt das Innere des Magneten.)

LHCb ist heute das führende Experiment im Bereich der Physik schwerer Quarks. Neben spektakulären Entdeckungen bislang unbekannter Teilchen werden darüber hinaus wichtige Messungen zur elektroschwachen und starken Wechselwirkung durchgeführt und Kollisionen mit schweren Ionen untersucht. Als einziges Experiment am LHC ist LHCb zudem in der Lage, auch Kollisionen des Strahls mit ruhenden Kernen zu studieren, wobei geringe Mengen eines Edelgases in die Wechselwirkungszone injiziert werden. Diese Art von Physik wurde mit maßgeblicher Beteiligung des MPIK etabliert und ist mittler-



Visualisierung der in einer Kollision erzeugten Teilchenspuren.

weile fester Teil des LHCb-Physikprogramms. Damit adressiert LHCb Themen, die sowohl für die Teilchenphysik als auch für astrophysikalische Fragestellungen und die Physik kosmischer Strahlung von großem Interesse sind.

### Materie, Antimaterie und Dunkle Materie

Zu jedem Elementarteilchen gibt es ein Antiteilchen, welches die gleiche Masse und den gleichen Eigendrehimpuls, aber die entgegengesetzte Ladung hat. Treffen Teilchen und Antiteilchen aufeinander, so zerstrahlen sie zum Beispiel in zwei Gammaquanten. Umgekehrt kann man aus Energie auch wieder Teilchen-Antiteilchen-Paare erzeugen.

Beim Urknall wurden aus der vorhandenen Energie zunächst gleiche Mengen Materie und Antimaterie erzeugt, und eine zentrale Frage der Teilchenphysik ist, warum es im heutigen Universum keine nennenswerten Mengen von Antimaterie mehr gibt, die man z. B. an Hand von Vernichtungsstrahlung aus der Kollision einer normalen Galaxie mit einer Antimaterie-Galaxie sehen würde. Das Standardmodell der Teilchenphysik kann den Materieüberschuss des Universums nicht erklären. Wenn die Physik durch das Standardmodell vollständig beschrieben wäre, dann gäbe es statt für 100 Milliarden nur Materie für 100 Galaxien.



Kollision der Spiralgalaxien NGC 2207 und IC 2163, ca. 114 Millionen Lichtjahre entfernt. (Bild: Hubble Space Telescope)

Bestimmte Elementarteilchen, sogenannte B-Mesonen, sind etwa fünfmal schwerer aber hunderttausend mal kleiner als ein Wasserstoffatom und bestehen zu fast 100% aus Antimaterie, während die Masse ihrer Antiteilchen praktisch gänzlich Materie ist. Beide zerfallen in Endzustände, in denen Materie und Antimaterie gleich stark vertreten sind, wobei es in einigen Prozessen Unterschiede zwischen B-Mesonen und ihren Antiteilchen gibt. LHCb wurde