

Max-Planck-Institut für Kernphysik

Hausanschrift:
Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

Postanschrift:
Postfach 103980
69029 Heidelberg

Tel: 06221 5160
Fax: 06221 516601

E-Mail: info@mpi-hd.mpg.de
Internet: <http://www.mpi-hd.mpg.de>

Ansprechpartner:
Prof. Dr. Manfred Lindner
Tel: 06221 516800
E-Mail: manfred.lindner@mpi-hd.mpg.de

Dr. Werner Rodejohann
Tel: 06221 516824
E-Mail: werner.rodejohann@mpi-hd.mpg.de

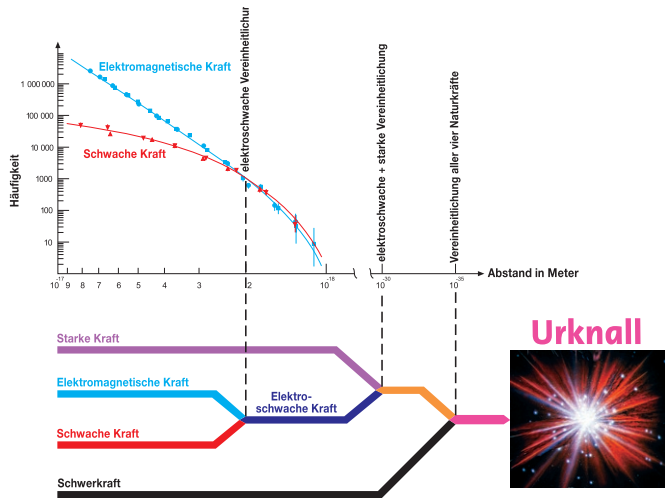


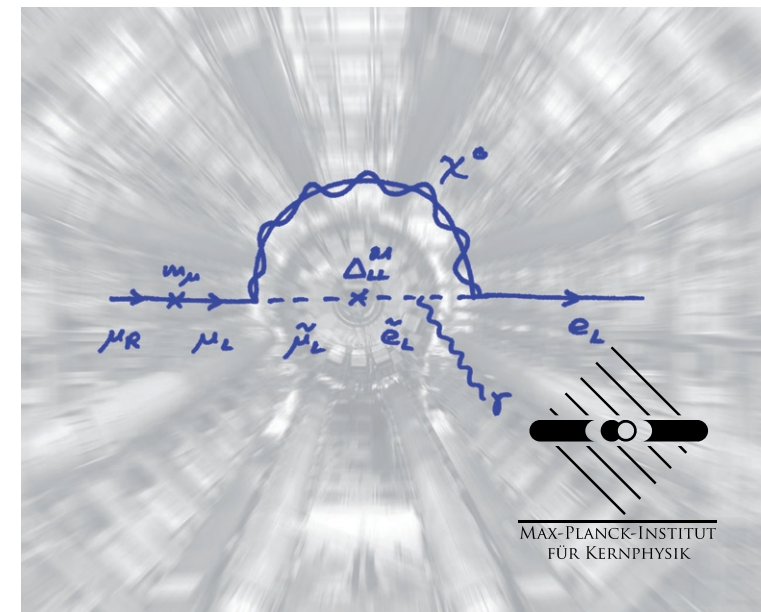
Illustration der großen Vereinheitlichung. Je höher die Auflösung eines Experimentes ist, desto einheitlicher zeigt sich die Elementarteilchenphänomenologie. Heutige Teilchendetektoren erreichen eine Auflösung von ca. 10^{-18} m und dringen damit in den Bereich vor, in dem der gemeinsame Ursprung der elektromagnetischen und der schwachen Kraft zu Tage tritt. Das Diagramm zeigt jedoch, dass elektromagnetische und schwache Wechselwirkungen bei höherer Ortsauflösung immer seltener werden. Deshalb ist es selbst mit modernen Teilchenbeschleunigern nicht möglich, experimentell in den Bereich der großen Vereinheitlichung von elektroschwacher und starker Kraft vorzudringen. (Quelle: DESY Pressearchiv)

unterscheidet. Die theoretischen Teilchenphysiker am MPIK beschäftigen sich mit der Interpretation von Messungen an Teilchenbeschleunigern, Beobachtungen aus der Astroteilchenphysik, Neutrinoexperimenten und Experimenten zur Lepton-Flavour-Verletzung. Dabei handelt es sich um bestimmte Zerfallsreaktionen von Leptonen, die im Standardmodell nicht vorkommen, jedoch in vielen seiner Erweiterungen eine wichtige Rolle spielen.

Titelbild: Feynman-Diagramm eines Lepton-Flavour-verletzenden Prozesses, bei dem ein Myon in ein Elektron und ein Photon umgewandelt wird. Im Hintergrund der ATLAS-Detektor am LHC in Genf während der Aufbauphase. Dieses Experiment wird helfen, das Wesen der „Physik jenseits des Standardmodells“ aufzuklären.



Theoretische Elementarteilchen- physik jenseits des Standardmodells



Theoretische Elementarteilchenphysik jenseits des Standardmodells

Den Geheimnissen der Materie auf der Spur

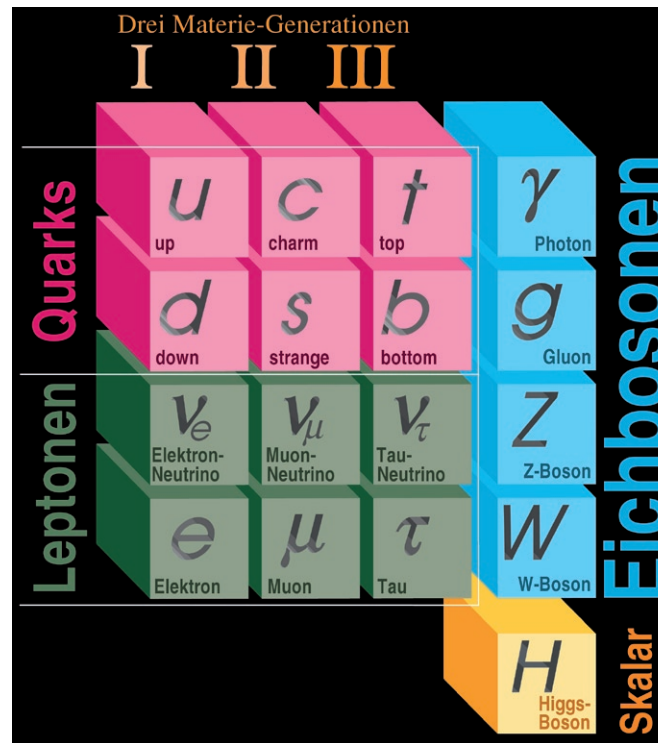
Das „Standardmodell“ – der etablierte theoretische Formalismus zur Beschreibung des Verhaltens der Elementarteilchen – stößt zunehmend an seine Grenzen. Deshalb ist die Entwicklung neuer, umfassenderer Theorien eine der größten Herausforderungen für die theoretische Teilchenphysik. Diese sollen beispielsweise in der Lage sein, die fundamentalen Naturkräfte auf einen gemeinsamen Ursprung zurückzuführen, die außergewöhnlichen Eigenschaften der Neutrinos zu verstehen und die Existenz dunkler Materie im Universum erklären.

Das Standardmodell

Das in den 1970er Jahren entwickelte Standardmodell der Elementarteilchenphysik beschreibt mit beeindruckender Genauigkeit das Verhalten aller uns bekannten Elementarteilchen und führt es im mathematischen Formalismus der Quantenfeldtheorie auf einfache mathematische Gesetzmäßigkeiten zurück.

Eine besonders große Rolle spielen dabei Symmetriegruppen. Eine Symmetriegruppe ist eine bestimmte Klasse mathematischer Transformationen, welche die resultierenden beobachtbaren Phänomene unverändert lassen.

Neben den Materieteilchen, die aus drei Generationen von Quarks und Leptonen gebildet werden, beinhaltet das Standardmodell noch die Eichbosonen (Photon, Gluon, W- und Z-Boson), die die Wechselwirkungen zwischen den Quarks und Leptonen übertragen. Eine elektromagnetische Wechselwirkung zweier Teilchen lässt sich z.B. als Austausch eines Photons auffassen. Das wohl mysteriöseste Teilchen im Standardmodell ist jedoch das Higgs-Boson, das – ähnlich wie die Cooper-Paare in einem Supraleiter – ein Kondensat bildet, das das gesamte Universum erfüllt. Die Bewegung aller anderen Teilchen wird durch dieses Kondensat beeinflusst; dadurch erhalten die Teilchen ihre Masse. Diesen Vorgang bezeichnet man als spontane Symmetriebrechung.



Die Elementarteilchen des Standardmodells der Teilchenphysik (Quelle: Fermilab Visual Media Services)

Trotz seiner Erfolge lässt das Standardmodell einige Fragen offen, z.B.:

- Warum folgen die Parameter des Modells (z.B. die Teilchenmassen) bestimmten Mustern? Lassen sich ihre Werte vorhersagen?
- Lässt sich die mathematische Struktur des Standardmodells noch weiter vereinfachen?
- Woraus besteht die dunkle Materie im Universum?
- Warum gibt es im Universum nicht genauso viel Antimaterie wie Materie?
- Wie lässt sich die gravitative Wechselwirkung teilchenphysikalisch beschreiben?

Neue Konzepte in der Teilchenphysik

Um die Unzulänglichkeiten des Standardmodells zu eliminieren, wurden neue theoretische Konzepte entwickelt. Die Wissenschaftler am MPIK arbeiten vor allem an folgenden Themen:

Alternative Symmetriebrechungsmechanismen

Obwohl die spontane Symmetriebrechung des Standardmodells erklärt, wie die Elementarteilchen ihre Masse erhalten, sind Alternativen denkbar. Insbesondere die Tatsache, dass es bisher noch nicht gelungen ist, das Higgs-Teilchen experimentell nachzuweisen, lässt Raum für andere Mechanismen.

Supersymmetrie

Es gibt starke theoretische Argumente dafür, dass das Standardmodell neben den bekannten Symmetrien noch weitere besitzt. Insbesondere die Supersymmetrie spielt in der modernen theoretischen Teilchenphysik eine große Rolle. In supersymmetrischen Modellen existiert zu jedem Teilchentyp ein Superpartner, der sich lediglich durch seinen Eigendrehimpuls (Spin) von ihm unterscheidet.

Flavoursymmetrien

Das Standardmodell liefert keine Erklärung für die Existenz von genau drei Generationen von Materieteilchen. Außerdem lässt es die Frage offen, warum die Massen dieser Teilchen bestimmten Mustern folgen. Aufgrund der großen Bedeutung von Symmetrien im Standardmodell liegt es nahe, auch für das Verständnis der Teilchenmassen und der Generationenstruktur Symmetrieargumente heranzuziehen. Man spricht dann von Flavoursymmetrien.

Große Vereinheitlichung

Eine weitere Möglichkeit, das Standardmodell auf eine noch elegantere und noch umfassendere Theorie zurückzuführen, ist die große Vereinheitlichung. Das Ziel ist dabei, alle Wechselwirkungen der Elementarteilchen – also die elektromagnetische Kraft, die schwache Kernkraft und die starke Kernkraft – auf einen gemeinsamen Ursprung zurückzuführen.

Experimentelle Beobachtung der Physik jenseits des Standardmodells

Ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung neuer teilchenphysikalischer Modelle und Formalismen ist deren experimentelle Überprüfbarkeit. Für jedes neue Modell muss sorgfältig berechnet werden, in welchen Messgrößen (z.B. Teilchenmassen, Reaktionsraten, etc.) es sich von anderen Modellen