

Das Higgs-Teilchen und der Ursprung der Masse

Warum ist das Higgs-Teilchen so wichtig?

In den letzten Jahrzehnten hat die Physik ein überaus erfolgreiches Modell für die Bausteine der Welt und die Kräfte zwischen ihnen geschaffen. Dieses Modell hat aber eine Schwachstelle: Kräfte dürfen hier nur von masselosen Austauschteilchen wie dem Photon übertragen werden. Allerdings zeigte sich, dass sich die Austauschteilchen der schwachen Kraft, die W- und Z-Bosonen, nicht daran halten: Sie besitzen eine bisher unerklärt große Masse. Um keinen Widerspruch mit dem Modell zu erhalten, muss es also etwas geben, das diesen Teilchen Masse verleiht. Dazu führten Peter Higgs und andere Physiker [I] 1964 das Higgs-Feld ein, welches im gesamten Universum gleichermaßen vorhanden ist. Die ursprünglich masselosen Austauschteilchen interagieren mit dem Higgs-Feld und erlangen so ihre Masse. Das Higgs-Feld ist nicht direkt messbar, aber durch seine Existenz muss es mindestens ein weiteres Elementarteilchen geben, das Higgs-Teilchen [II]. Dieses Teilchen ist elektrisch neutral und zerfällt sehr schnell. Aus früheren Experimenten wissen wir bereits, dass seine Masse mehr als 120mal der Protonenmasse sein müsste. Higgs-Teilchen sind der letzte fehlende Baustein des Modells: Ihre Entdeckung ist zwingend nötig, wenn das Modell die Natur beschreiben soll. Andererseits, zieht man diesen Baustein heraus, bricht das gesamte Gebäude zusammen.

Wie weist man das Higgs-Teilchen nach?

Um Higgs-Teilchen zu erzeugen, werden im Large Hadron Collider (LHC) am CERN Protonen mit vorher nie erreichten Energien von 4.000 GeV [1] zur Kollision gebracht. In einer Minute finden Milliarden von Reaktionen statt, bei denen meist nur ein einziges Mal ein Higgs-Teilchen produziert wird. Dieses zerfällt in kürzester Zeit und kann daher nur über seine Zerfallsprodukte identifiziert werden, wie z. B. den Zerfall in zwei Z-Bosonen. Die wiederum können in je zwei Myonen zerfallen, die schweren Partner des Elektrons. Ein solches Zerfallsereignis ist in der Abbildung dargestellt.

Wie ist der Stand der Higgs-Suche?

Der LHC lief in den Jahren 2011 und 2012 extrem erfolgreich. So konnten die Experimente ATLAS und CMS – unabhängig voneinander und trotz unterschiedlicher Messmethoden – bei einer aus den Zerfallsprodukten berechneten Masse von etwa 134mal der Protonenmasse (entspricht $m \cdot c^2 = 126$ GeV) signifikant [2] mehr Ereignisse beobachten, als man durch reinen Untergrund [3] erwarten würde. Dies impliziert die Beobachtung eines neuen Teilchens, konsistent mit dem Higgs-Teilchen. Diese Beobachtung muss nun noch durch weitere Analysen bestätigt werden.

Wie ist das Ergebnis zu bewerten? Und was bedeutet dies für die Menschheit?

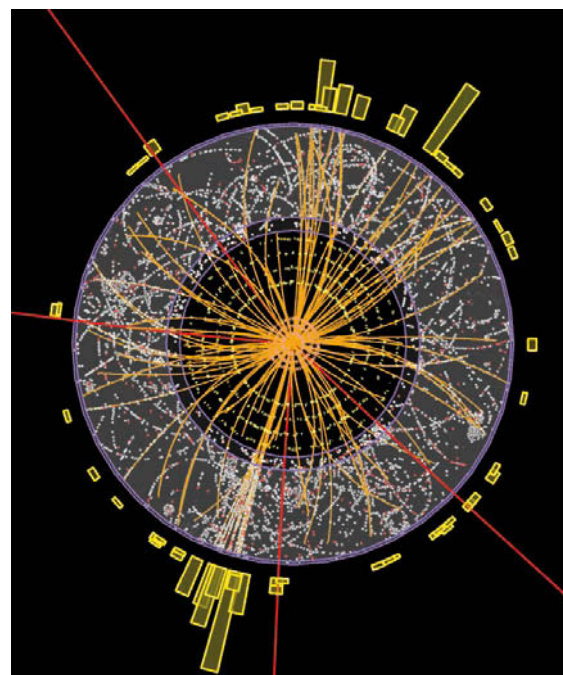
Jetzt müssen die Teilchenphysiker beweisen, dass das entdeckte Objekt tatsächlich das mit dem Phänomen Masse im Universum verknüpfte Higgs-Teilchen ist. Dazu untersucht man, ob die Wahrscheinlichkeit, dass das Higgs-Teilchen in bestimmte Teilchen zerfällt, von deren Masse abhängt: Je schwerer, desto häufiger. Die Wissenschaftler gehen davon aus, dass die bis Jahresende von beiden Experimenten aufgenommenen Daten (etwa doppelt so viel wie jetzt) ausreichen werden, diesen Beweis zu liefern. Durch eine experimentelle Bestätigung des Higgs-Mechanismus bekommen auch die Elektronen und Quarks (elementare Bausteine z.B. der Protonen und Neutronen) eine – wenn auch kleine – Masse. Basierend auf dieser kleinen Masse werden dann durch die starke Wechselwirkung die restlichen 99 % der Protonenmasse erzeugt.

Das CERN wurde 1954 als Pilotprojekt friedlicher, europäischer Zusammenarbeit gegründet (siehe UNESCO Generalkonferenz Florenz 1950), um wissenschaftliche Projekte, die für ein einzelnes Land zu groß sind, gemeinsam anzugehen. Diese Form der Zusammenarbeit kann auch ein Vorbild für die Lösung der großen Fragen der Zukunft sein, vor denen die Menschheit steht.



„Der experimentelle Nachweis des Higgs-Teilchens zeigt, dass die schwierigsten Probleme nur dann gelöst werden können, wenn es eine weltweite Zusammenarbeit ohne politische Zwänge und Vorgaben gibt.“

Johanna Stachel, Präsidentin der Deutschen Physikalischen Gesellschaft



Zerfall eines Higgs-Kandidaten in vier Myonen (rote Spuren) im ATLAS-Detektor am LHC. Alle anderen Spuren zeigen weitere Teilchen, die bei der primären Proton-Proton-Kollision im LHC entstehen. (Bild: CERN)

[1] GeV = Giga-Elektronvolt

[2] Da auch statistische Fluktuationen ein Signal vortäuschen können, gilt für die Entdeckung eines neuen Teilchens: Erst wenn mit einer Wahrscheinlichkeit von 1:1,7 Millionen ausgeschlossen werden kann, dass es sich um eine Fluktuation

des Untergrunds handelt, gilt eine Messung als Entdeckung. Das ist etwa so wahrscheinlich, wie acht Mal hintereinander eine Sechs zu würfeln.

[3] Als Untergrund bezeichnet man Ereignisse mit ähnlicher Zerfallssignatur, die aber auf andere Prozesse zurückzuführen sind.

Deutsche **Physikalische** Gesellschaft

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG), deren Tradition bis in das Jahr 1845 zurückreicht, ist die älteste nationale und mit mehr als 62.000 Mitgliedern auch die größte physikalische Fachgesellschaft weltweit. Sie versteht sich als Forum und Sprachrohr der Physik und verfolgt als gemeinnütziger Verein keine wirtschaftlichen Interessen. Die DPG unterstützt den Gedankenaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft mit Tagungen und Publikationen. Sie engagiert sich in der gesellschaftspolitischen Diskussion zu Themen wie Nachwuchsförderung, Chancengleichheit, Klimaschutz, Energieversorgung und Rüstungskontrolle. Sie fördert den Physikunterricht und möchte darüber hinaus allen Neugierigen ein Fenster zur Physik öffnen.

In der DPG sind Professorinnen und Professoren, Studierende, Lehrerinnen und Lehrer, in der Industrie tätige oder einfach nur an Physik interessierte Personen ebenso vertreten wie Patentanwälte und Wissenschaftsjournalisten. Gegenwärtig hat die DPG zehn Nobelpreisträger in ihren Reihen. Weltberühmte Mitglieder hatte die DPG immer schon. So waren Albert Einstein, Hermann von Helmholtz und Max Planck einst Präsidenten der DPG.

Die DPG finanziert sich im Wesentlichen aus Mitgliedsbeiträgen. Ihre Aktivitäten werden außerdem von Bundes- und Landesseite sowie von gemeinnützigen Organisationen gefördert. Besonders eng kooperiert die DPG mit der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung.

Die DPG-Geschäftsstelle hat ihren Sitz im Physikzentrum Bad Honnef in unmittelbarer Nähe zur Universitäts- und Bundesstadt Bonn. Das Physikzentrum ist nicht nur ein Begegnungs- und Diskussionsforum von herausragender Bedeutung für die Physik in Deutschland, sondern auch Markenzeichen der Physik auf internationalem Niveau. Hier treffen sich Studierende und Spitzenwissenschaftler bis hin zum Nobelpreisträger zum wissenschaftlichen Gedankenaustausch. Auch Lehrerinnen und Lehrer reisen immer wieder gerne nach Bad Honnef, um sich in den Seminaren der DPG fachlich und didaktisch fortzubilden.

In der Bundeshauptstadt ist die DPG ebenfalls präsent. Denn seit ihrer Vereinigung mit der Physikalischen Gesellschaft der DDR im Jahre 1990 unterhält sie das Berliner Magnus-Haus. Dieses 1760 vollendete Stadtpalais, das den Namen des Naturforschers Gustav Magnus trägt, ist eng mit der Geschichte der DPG verbunden: Aus einem Gelehrtentreffen, das hier regelmäßig stattfand, ging im Jahre 1845 die „Physikalische Gesellschaft zu Berlin“, später die DPG hervor. Heute finden hier Kolloquien und Vorträge zu physikalischen und gesellschaftspolitischen Themen statt. Gleichzeitig befindet sich im Magnus-Haus auch das historische Archiv der DPG.

Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.

Geschäftsstelle Tel.: 02224 / 92 32 - 0
Hauptstraße 5 Fax: 02224 / 92 32 - 50
53604 Bad Honnef E-Mail: dpg@dpg-physik.de

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft
dankt ihren Autoren
Karl Jakobs, Thomas Naumann und Achim Stahl.