

Der Higgs-Mechanismus

Freitag, 21. September 2012 - 01:44 | Autor: [wabis](#) | Themen: [Wissen](#), [Physik](#), [QM](#)

Der Higgs-Mechanismus ist ein weiterer Mechanismus, der einem Teilchen eine Masse geben kann. Um dies zu verstehen, müssen wir die Dirac-Theorie heranziehen und uns mit Spin und einer besonderen Ladung befassen.

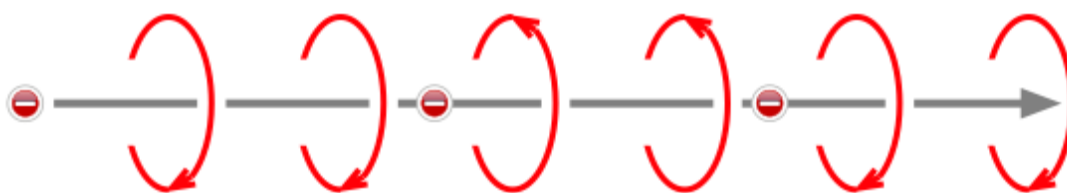
Unabhängig von **Peter Higgs** wurde der Higgs-Mechanismus von **François Englert** und **Robert Brout** in Brüssel und **Gerald Guralnik**, **Carl R. Hagen** und **T. W. B. Kibble** am Imperial College in London zur selben Zeit gefunden. Als das Standardmodell Ende der 1960er Jahre entwickelt wurde, setzte sich aber Higgs' Name für den Effekt durch Higgs-Mechanismus.

Dirac-Theorie der Elektronen

Was als nächstes erklärt werden muss, ist die Dirac-Theorie der Elektronen^[Video 1].

Alles was wir an dieser Stelle über die Dirac-Theorie wissen müssen ist, dass Elektronen einen Spin^[1] haben. Wenn sich ein Elektron annähernd mit Lichtgeschwindigkeit entlang einer Achse bewegt kann sein Spin bezüglich der Bewegungsrichtung entweder rechtsdrehend oder linksdrehend sein. Man spricht von rechtshändigen und linkshändigen Elektronen oder von der Chiralität^[2].

Nach der Dirac-Theorie^[3] kann der Spin eines Elektrons von rechtshändig zu linkshändig kippen und umgekehrt. Wenn sich ein Elektron mit Lichtgeschwindigkeit bewegen würde, könnte sein Spin nicht kippen. Denn für ein Objekt, das sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, bleibt die Zeit stehen. Somit kann es sich auch nicht ändern. Damit ein Elektron sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen könnte, müsste seine Masse Null sein. Bei einem masselosen Elektron könnte sich jedoch wie gesagt der Spin nicht ändern.



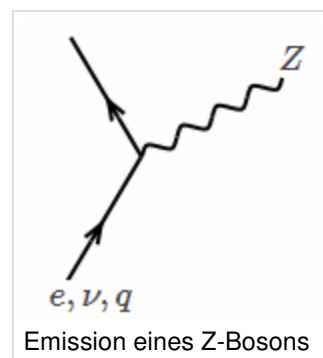
In der Dirac-Theorie ist dieses Kippen des Spins eng verknüpft mit der Masse des Teilchens. Tatsächlich ist die Masse eines Dirac-Teilchens proportional zur Rate, mit welcher der Spin kippt. Je schneller der Spin hin und her kippt, umso massereicher ist das Teilchen.

Natürlich muss berücksichtigt werden, dass die Kipp-Rate mit Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit aufgrund der Zeitdehnung^[4] verlangsamt wird. Diese Verlangsamung verringert jedoch die Masse des Elektrons nicht, sie ist lediglich ein relativistischer Effekt^[5]. Die Kipp-Rate und somit die Masse des Teilchens ist abhängig von der sog. Kopplungskonstanten^[6], welche angibt, wie stark ein Teilchen an das Higgs-Feld gekoppelt ist.

Zilch-Ladung

Kommen wir zurück zum Beispiel, wo ein Z-Boson emittiert wird:^[Video 2]

Ein Z-Boson kann von einem Elektron e , einem Neutrino ν oder einem Quark q emittiert werden. Aber konzentrieren wir uns nur auf das Elektron. Das Z-Boson ist nicht das Selbe wie ein Photon. Und die Eigenschaft eines Teilchens, welche das Ausstrahlen eines Z-Boson verursacht, ist nicht die elektrische Ladung, sondern eine völlig andere Art von Ladung. Diese Ladungsart wird die Schwache Hyperladung^[7] (engl: *weak hypercharge*) genannt. Prof. Leonard Susskind nennt diese Ladung *Zilch* (sprich: *Siltsch*)^[Video 3]. Wenn ein Teilchen, welches eine Zilch-Ladung hat, beschleunigt wird, emittiert es also ein Z-Boson. Wenn das Teilchen auch eine elektrische Ladung hat, kann es auch ein Photon emittieren.



Rechts- und linkshändige Elektronen haben die selbe elektrische Ladung. Aber in der Mathematik des Standardmodells^[8] haben rechts- und linkshändige Elektronen nicht den gleichen Zilch! Linkshändige Elektronen haben einen Zilch von 1, rechtshändige einen Zilch von 0^[Video 4].

Dies ist eine verblüffende Eigenschaft. Denn wenn der Spin eines Elektrons von linkshändig nach rechtshändig kippt, geht sein Zilch von 1 auf 0. Aber Zilch ist wie die elektrische Ladung eine Erhaltungsgrösse^[9].

Wie kann dann der Zilch von 1 auf 0 gehen oder umgekehrt?

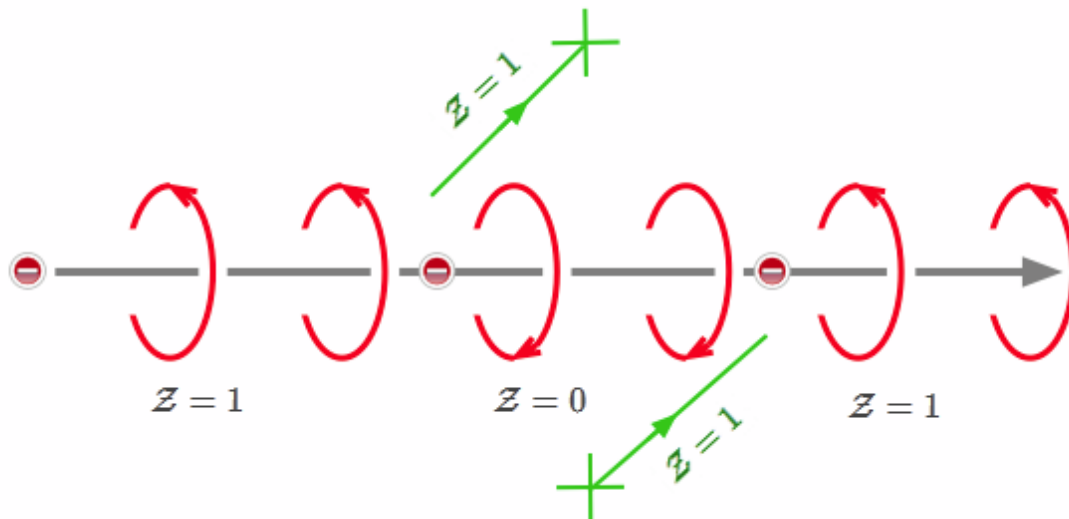
Die Antwort lautet: Er kann es nicht! Und das ist der Grund dafür, weshalb die Elektronen im Standardmodell keine Masse haben sollten. Weil rechtshändige und linkshändige Elektronen verschiedene Werte einer Erhaltungsgrösse haben, kann rechtshändig nicht zu linkshändig wechseln und umgekehrt. Folglich können Elektronen keine Masse haben. Punkt!

Und trotzdem haben Elektronen eine Masse! Wie können wir diesen Widerspruch auflösen?

Ziggs-Bosonen

Dieser Widerspruch kann aufgelöst werden, indem wir einen neuen Bestandteil hinzufügen: das Ziggs-Boson Z (sprich: *Siggs-Boson*), eine Erfindung von Prof. Leonard Susskind^[Video 5]. Achtung: nicht verwechseln mit dem Higgs-Boson!

Das Ziggs-Boson ist eng verknüpft mit der spontanen Symmetriebrechung. Es ist eine Teilchenart, die ein Kondensat bildet. Das heisst, man kann nicht sagen, wieviele Teilchen davon umherschwirren. Wir können Ziggs-Teilchen hinzufügen oder entfernen ohne das Vakuum zu verändern. Dieses Vakuum hat durch die Ziggs-Teilchen keine elektrische Ladung, sondern Zilch-Ladung.



Wenn also ein linkshändiges Elektron mit einer Zilch-Ladung von 1 zu fliegen kommt, kann es durch Emission eines Ziggs-Bosons diese Ladung an das Vakuum abgeben und damit zu einem rechtshändigen Elektron mit der Zilch-Ladung 0 werden. Später kann es aus dem Vakuum ein Ziggs-Teilchen aufnehmen und wieder zu einem linkshändigen Elektron mit Zilch-Ladung 1 werden usw. Das Vakuum ändert sich in diesem Prozess nicht, denn die Ziggs-Teilchen bzw. das Ziggs-Feld bilden ein Kondensat.

Über diesen Mechanismus erhalten alle Fermionen^[10] (Elektronen, Quarks, Müonen, usw.) ihre Masse.

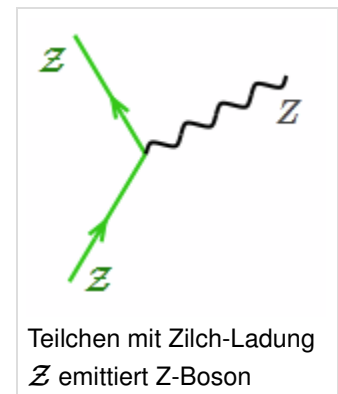
Diesen Mechanismus nennt man spontane Brechung der chiralen Symmetrie^[11] [Video 6].

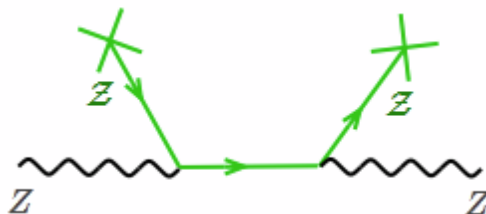
Was ist mit dem Z-Boson? Das Z-Boson ist ähnlich wie ein Photon. Ein Photon ist im Gegensatz zum Z-Boson masselos. Wie erhält das Z-Boson seine Masse?

Erinnern wir uns daran, was ein Z-Boson tun kann: Es interagiert mit jedem Teilchen, das eine Zilch-Ladung hat (e, ν, q), insbesondere mit dem Ziggs-Teilchen Z . Das Ziggs-Teilchen *hat* Zilch-Ladung und kann daher ein Z-Boson emittieren.

Was bedeutet das für das Z-Boson?

Wenn ein Z-Boson zu fliegen kommt, das Z-Boson hat keine Zilch-Ladung, kann es ein Ziggs-Teilchen aus dem Kondensat absorbieren und damit Zilch-Ladung erhalten. Damit wird das Z-Boson zu einem Ziggs-Teilchen. Später kann es das Ziggs-Teilchen wieder an das Kondensat abgeben und wird wieder zu einem gewöhnlichen Z-Boson.





Über diesen Mechanismus erhalten also Teilchen ihre Massen. Dieser Mechanismus wird nach ihren Entdeckern **Englert-Brout-Higgs-Guralnik-Hagen-Kibble-Mechanismus** genannt, oder einfach nur **Higgs-Mechanismus**^[12].

Dieser Mechanismus könnte im Prinzip auch für Photonen funktionieren. Würde ein Kondensat aus elektrisch geladenen Teilchen existieren, hätten auch Photonen eine Masse. Wenn es ein solches Kondensat gäbe, würden wir allerdings nicht existieren. Es gäbe dann keine Atome wie wir sie heute kennen.

Werden wir das Ziggs-Teilchen je entdecken?

Ja, es wurde schon lange entdeckt. Es ist einfach Teil des Z-Bosons. Das Z-Boson wurde in den 1960er Jahren vorausgesagt. Der direkte Nachweis des Z-Bosons gelang erst im Jahr 1983, als nach einem Umbau des Super Proton Synchrotrons zu einem Protonen-Antiprotonen-Collider eine ausreichende Schwerpunktsenergie zur Verfügung stand^[13].

Als das Z-Boson nachgewiesen wurde und man seine Eigenschaften studierte, fand man, dass es eine Masse hat, welche durch absorbieren und emittieren eines Ziggs-Teilchens zustande kam. An diesem Mechanismus bestanden eigentlich keine Zweifel, zumindest für einige Jahre nicht.

Quelle: Prof. Leonard Susskind

Diese Seite ist Teil meiner Deutsch-Übersetzung Higgs-Boson entmystifiziert des Vortrages Demystifying the Higgs Boson von Prof. Leonard Susskind vom 30.07.2012 an der Stanford University.

Prof. Leonard Susskind ist ein US-amerikanischer theoretischer Physiker und Mitbegründer der Stringtheorie. Er gibt seit vielen Jahren öffentliche Vorlesungen in Physik für ein interessiertes Publikum.



Leonard Susskind beim Vortrag über das Higgs-Boson

- Leonard Susskind; *Wikipedia (de)*
- Demystifying the Higgs Boson with Leonard Susskind; *Youtube*

Video-Links

1. Demystifying the Higgs Boson with Leonard Susskind; *Youtube*; Position 42:45
What I need to tell you about is the dirac theory of electrons.
2. Demystifying the Higgs Boson with Leonard Susskind; *Youtube*; Position 45:31
You remeber the Z boson?
3. Demystifying the Higgs Boson with Leonard Susskind; *Youtube*; Position 46:09
It's called the weak hypercharge. I don't like that. Because it's the thing which emits Z bosons, I call it Zilch!
4. Demystifying the Higgs Boson with Leonard Susskind; *Youtube*; Position 46:42
But left handed and right handed electrons do not have the same Zilch... The left handed electron has Zilch of plus one and the right handed electron has zero Zilch.
5. Demystifying the Higgs Boson with Leonard Susskind; *Youtube*; Position 48:10
How do we get around this? We get around this by introducing a new ingredient and the new ingredient is called the Ziggs boson. It's not the Higgs boson, not yet!
6. Demystifying the Higgs Boson with Leonard Susskind; *Youtube*; Position 51:29
It's called the spontaneous breaking of chiral symmetry

Weitere Informationen

1. Spin; *Wikipedia (de)*
2. Chiralität (Physik); *Wikipedia (de)*
3. Dirac-Theorie; *Wikipedia (de)*
4. Zeitdehnung; *Wikipedia (de)*
5. Relativitätstheorie; *Wikipedia (de)*
6. Kopplungskonstante; *Wikipedia (de)*
7. Schwache Hyperladung; *Wikipedia (de)*
8. Standardmodell; *Wikipedia (de)*
9. Erhaltungsgröße; *Wikipedia (de)*
10. Fermionen; *Wikipedia (de)*
11. Spontane Symmetriebrechung; *Wikipedia (de)*
12. Higgs-Mechanismus; *Wikipedia (de)*
13. Z-Boson; *Wikipedia (de)*