

Standardmodell

Quarks und Neutrinos

Mit der Entdeckung der Quarks bestand das Standardmodell der Teilchenphysik 1970 aus Elektron, Myon, Neutrino und drei Quarks: dem up-, down- und strange-Quark.

Symmetrieüberlegungen ergaben jedoch, dass es verschiedene Arten von Neutrinos geben musste, und zwar jeweils eines für Elektron und Myon, was inzwischen auch experimentell bestätigt ist.

Beim Blick auf das Standardmodell, also die Übersicht über die Elementarteilchen, fällt schon rein optisch auf, dass es eigentlich schöner wäre, wenn es vier Quarks gäbe, die Elektron, Myon und ihren Neutrinos gegenüber stehen. Bereits 1964 theoretisch vorausgesagt, wurde das charm-Quark 1974 in den USA entdeckt.

1974 wurde allerdings noch ein weiteres Teilchen entdeckt: das Tauon, noch schwerer als das Myon, aber mit ähnlichen Eigenschaften wie Elektron und Myon. Auch jetzt lag wieder die Vermutung nahe, dass es neben dem Tau-Neutrino auch ein fünftes und sechstes Quark geben müsste, das bottom- und das Top-Quark.

Während das bottom-Quark bereits einige Jahre später auch experimentell gefunden wurde, dauerte es bis zur Entdeckung des Top-Quarks gut 20 Jahre: erst 1994 wurde das Top-Quark am TEVATRON in den USA gefunden.

Als Erklärung der Teilchen des Standardmodells ist hinzuzufügen: nach rechts hin werden die Teilchen schwerer: Myon und Tauon sind also deutlich schwerer als das Elektron, und das Top-Quark ist mit 164 Gigaelektronenvolt ein richtiges Schwergewicht, das nur von den stärksten Teilchenbeschleunigern erzeugt werden kann, weshalb die Entdeckung auch so lange gedauert hat. Wichtig ist außerdem: nur die leichtesten Teilchen, also Elektron, up- und down-Quark sind stabil. Alle anderen zerfallen innerhalb kürzester Zeit. Materie besteht nur aus den Teilchen dieser 1. Generation. Der Atomkern besteht schließlich aus Protonen und Neutronen, die aus up- und down-Quarks zusammengesetzt sind, und um den Kern herum ist die Atomhülle mit Elektronen. Die anderen Teilchen treten nur kurzzeitig bei Teilchenkollisionen im Beschleuniger oder in der kosmischen Strahlung auf.

Austauschteilchen

[Aus- und Einblenden] Doch welche Kräfte halten die Teilchen zusammen? Im Atom ist dies zum einen die elektromagnetische Kraft, also die elektrische Anziehung zwischen positiv geladenem Atomkern und negativ geladenem Elektron.

In der Teilchenphysik beschreibt man Kräfte und Wechselwirkungen ebenfalls mit Teilchen. Einen Knochen, den sich zwei Hunde ständig gegenseitig abjagen, könnte man beispielsweise als Austauschteilchen einer Kraft interpretieren, die die Tiere eng beisammen hält.

Auch der Ball, der zwischen zwei Booten hin- und her geworfen wird, überträgt eine Kraft. Ist also sozusagen ebenfalls ein Austauschteilchen.

Das Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung ist das uns bereits gut bekannte Photon. Anstatt der bisherigen Sprechweise, Elektronen werden vom positiv geladenen Atomkern angezogen, könnte man auch sagen, Atomkern und Elektron tauschen ständig Photonen aus, die natürlich nicht sichtbar, sondern nur virtuell sind.

Das Austauschteilchen der Gravitation ist das Graviton, das allerdings bisher noch nicht experimentell nachgewiesen wurde.

Es gibt neben der elektromagnetischen Kraft und der Gravitation noch weitere Kräfte oder Wechselwirkungen: zum einen ist die Frage, wieso Quarks, die sich teils elektrisch abstoßen, in den Hadronen dicht beieinander bleiben. Ein Proton besteht ja z.B. aus zwei up-Quarks, die jeweils die Ladung $+2/3e$ haben. Und auch wieso im Atomkern sich elektrisch abstoßende positiv geladene Protonen auf engstem Raum versammeln, lässt sich weder mit der elektromagnetischen Kraft noch mit Gravitation erklären.

Für den Zusammenhalt der Quarks im Proton, aber auch der Protonen im Atomkern muss eine sehr kurzreichweitige, aber extrem starke Kraft verantwortlich sein, die man ganz einfach „starke Kraft“ genannt hat. Das zugehörige Austauschteilchen, das Gluon, wurde 1979 in Hamburg auch im Experiment gefunden.

Der Beta-Zerfall in Atomen, der unter anderem für das Scheitern der Sonne verantwortlich ist, war weder mit der elektromagnetischen noch der starken Kraft erklärbar. Es musste also noch eine weitere Wechselwirkung geben, die aufgrund ihrer geringen Stärke „schwache Wechselwirkung“ genannt wurde. Deren Austauschteilchen sind die geladenen W-Bosonen und die neutralen Z-Bosonen. Diese wurden 1983 hier am CERN von Carlo Rubbia im Experiment nachgewiesen.

Damit sind die heute bekannten Teilchen: Elektron, Myon und Tauon mit ihren jeweiligen Neutrinos, dazu sechs Quarks als Materieteilchen und die Austauschteilchen, Photon, Gluon sowie W- und Z-Boson, die die Kräfte zwischen den Materieteilchen beschreiben.