

Teilchenzoo und Quarks

Nach der Entdeckung der Atom-Bausteine Proton, Neutron und Elektron wurden neue Teilchen wie das Myon oder Positron zunächst ausschließlich in der kosmischen Strahlung entdeckt. Die kosmische Strahlung aber lässt sich am besten in großen Höhen untersuchen, entweder mit Ballonflügen oder in Forschungslaboren hoch in den Bergen, was – besonders in der damaligen Zeit – mit großen Strapazen verbunden war. Viel bequemer wäre es da doch, neue Teilchen künstlich im Labor zu erzeugen, anstatt lange auf seltene Teilchen aus der Höhenstrahlung zu warten.

Streuexperimente

Schießt man Teilchen, z.B. Elektronen oder Protonen aufeinander, können zwei Dinge passieren: Erstens: die Teilchen werden elastisch gestreut, sind also vor und nach der Streuung identisch. Die Teilchen werden nicht zerstört, sondern nur abgelenkt. Experimente dieser Art verwendet man, um die innere Struktur von Materie zu untersuchen, wie zum Beispiel beim Rutherford-Experiment.

Bei ausreichender Energie kann bei einer Teilchenkollision allerdings auch inelastische Streuung auftreten: die Teilchen zerfallen in andere, neue Teilchen. Nach Einstein sind Energie und Masse äquivalent, Energie lässt sich in Masse umwandeln! Die kinetische Energie E der Ausgangsteilchen wird bei der inelastischen Streuung in neue Teilchen, also die Masse m , umgesetzt. Um schwere Teilchen zu erzeugen, benötigt man also schnelle Geschossteilchen mit hoher kinetischer Energie. Ab 1950 standen die ersten leistungsstarken Teilchenbeschleuniger wie z.B. Zyklotrons zur Verfügung, mit denen Elektronen oder Protonen auf ausreichend hohe Energien beschleunigt werden konnten. Damit war es möglich, neue, unbekannte Teilchen durch die Kollision zweier „herkömmlicher“ Teilchen im Labor künstlich zu erzeugen!

Dadurch stieg die Zahl neu entdeckter Teilchen rasch an. In den Nebel- und Blasenkammern, mit denen die künstlich erzeugten Teilchen beobachtet wurden, fand man in kurzer Zeit die Spuren von weit über 100 neuen Teilchen, die man Hadronen nannte.

Das griechische Alphabet reichte kaum aus, um diese zu benennen: Pion, Kaon, Rho, Eta, Delta, Lambda, Sigma und so weiter.

Wie konnte man sich nun diesen „Teilchenzoo“ erklären? Ließ sich irgendwo eine Struktur erkennen, nach denen sich diese hunderte Teilchen einordnen ließen?

Man besann sich auf die Erkenntnisse über Atome, die man beim Franck-Hertz-Versuch und bei der Spektroskopie gewonnen hatte: die Elektronen in der Hülle eines Atoms ließen sich auf höhere

Energieniveaus anregen. Könnte es daher nicht sein, dass die vielen hundert Teilchen des „Teilchenzoos“ in Wahrheit gar keine Teilchen, sondern lediglich Anregungszustände [auf Termschema zeigen] von fundamentalen Bausteinen sind?

Auf diese Idee kamen 1963 unabhängig voneinander Murray Gell-Mann und George Zweig. Tatsächlich ließen sich alle damals bekannten Teilchen als Anregung dreier Grundbausteine, denen Gell-Mann den Namen „Quarks“ gab, interpretieren: dem up-Quark mit der elektrischen Ladung $+2/3 e$, also zwei Dritteln der Elementarladung, dem down- und dem strange-Quark mit der elektrischen Ladung $-1/3 e$.

Auch Proton und Neutron, die ebenfalls zu den Hadronen und damit in den Teilchenzoo gehören, sind aus drei Quarks zusammengesetzt. Das Proton besteht aus zwei up- und einem down-Quark, wie wir sehen ist die Gesamtladung wie erwartet $1 e$. Das Neutron aus zwei down- und einem up-Quark hat dagegen die Ladung 0 , ist also elektrisch neutral.

Mit den verschiedenen Möglichkeiten, diese Quarks anzuordnen, hier im Termschema unten aufgeführt, lassen sich nicht nur Proton und Neutron, sondern alle Teilchen des „Teilchenzoos“ als Anregungszustände einordnen, hier z.B. das Eta, das Pi und das Rho-Teilchen.

Deshalb müssen wir unsere Vorstellungen von den Elementarteilchen, den kleinsten Bausteinen der Welt, die die Physiker im sogenannten „Standardmodell“ zusammenfassen, erweitern:

Die Teilchen des Teilchenzoos, aber auch Proton und Neutron, sind nicht fundamental, sondern aus Quarks aufgebaut. Damit können wir sie durch up-, down- und strange-Quark ersetzen.

Elektron und sein schwerer Bruder, das Myon, sowie das Neutrino werden dagegen bis heute als elementar angesehen. Bisher hat man keine noch kleinere Struktur innerhalb dieser Teilchen feststellen können.

1970 bestand das Standardmodell der Teilchenphysik, unser Bild von den Bausteinen der Natur, also aus Elektron, Myon, Neutrino und drei Quarks.