

# Struktur der Materie

## Einführung

Seit Tausenden von Jahren stellen sich Menschen die Frage, aus welchen Bausteinen die Welt zusammengesetzt ist und welche Kräfte diese verbinden. Aus was besteht also Materie wie Holz oder Wasser? Aus welchen Teilchen bestehen wir selbst? Heute wissen wir: alles ist aus Atomen aufgebaut. Die einzelnen Atome besitzen einen Atomkern und eine Elektronenhülle, wobei die Elektronen den Gesetzen der Quantenmechanik gehorchen. Wie aus der Chemie bekannt, setzt sich der Atomkern aus Protonen und Neutronen zusammen. Protonen und Neutronen wiederum bestehen aus noch kleineren Teilchen, den Quarks. Und mit diesen kleinsten Teilchen, den Grundbausteinen der Materie, beschäftigt sich die Teilchenphysik. Bis zur Entdeckung der Quarks war es allerdings ein langer Weg...

## Demokrit, frühe Atomvorstellungen

Der griechische Philosoph Demokrit stellte schon 400 v. Chr. die Hypothese auf, dass die Welt aus kleinen, unteilbaren Teilchen zusammengesetzt sei, die er Atome nannte. Bis ins 19. Jahrhundert, also über 2000 Jahre lang (!), war über Struktur und Aufbau der Atome nichts bekannt, man stellte sie sich als kleine Kugeln vor.

## Entdeckung des Elektrons

Mitte des 19. Jahrhunderts baute man die Vorläufer der heutigen Fernseher oder Oszilloskope, sogenannte Braun'sche Röhren. In einer solchen Braun'schen Röhre wird ein Metall, das an den Minus-Pol einer Spannungsquelle angeschlossen ist, erhitzt. Man stellte fest, dass dann irgend etwas aus dem Metall herausfliegt, das sich bündeln lässt und auf einem Schirm einen Lichtfleck hervorruft. Außerdem muss der Strahl geladen sein, denn im elektrischen Feld zwischen zwei Kondensatorplatten wird er abgelenkt. [Video] Hier sehen wir eine solche Braun'sche Röhre. [Pause] Im Dunkeln erkennt man gut das orangerote Glühen des Metalls, das die Strahlung aussendet, und natürlich den Leuchtfleck auf dem Schirm. Jetzt wird die Spannung an den Kondensatorplatten verändert - der Strahl wird abgelenkt. Aus Metallen können also, wenn diese negativ aufgeladen sind, durch Erhitzen elektrisch geladene Teilchen herausgerissen werden. Da das bei allen Metallen funktioniert, lag der Schluss nahe, dass diese negativ geladenen Teilchen, die man Elektronen nannte, überall enthalten sind. Joseph John Thomson, der diese Entdeckung 1897 machte,

stellte daraufhin ein erstes Atommodell vor: nach diesem würden Atome aus positiver Ladung bestehen, in die die Elektronen eingebettet sind wie Rosinen in einen Kuchenteig.

### Entdeckung des Atomkerns

10 Jahre später machte sich der neuseeländische Physiker Lord Ernest Rutherford daran, das Rosinenkuchen-Modell von Thomson zu überprüfen. Dazu schoss er Alpha-Teilchen auf eine dünne Goldfolie. Nach dem Thomson'schen Atommodell wäre zu erwarten gewesen, dass die meisten Teilchen von der Goldfolie kaum abgelenkt würden – schließlich müsste sich die Ablenkung durch die gleichmäßig im Atom verteilte positive Ladung gegenseitig aufheben. [Video3] Im Experiment beobachtet man tatsächlich direkt hinter der Goldfolie die meisten Teilchen – das Geiger-Müller-Zählrohr zeigt eine hohe Rate von um die 50 Zerfällen pro Sekunde an. Aber auch in größeren Winkeln sind entgegen der Erwartung vereinzelte Teilchen zu finden. Nicht nur im Winkel von  $90^\circ$  treten alpha-Teilchen auf, einige alpha-Teilchen werden sogar fast rückwärts, um  $180^\circ$  gestreut!

Dies ließ nur den Schluss zu, dass die positive Ladung in Atomen in einem kleinen, harten Kern konzentriert sein musste, mit dem die rückwärts gestreuten alpha-Teilchen zusammengestoßen waren. Dass trotzdem die meisten Teilchen geradlinig durch die Goldfolie durchgeflogen sind, deutet darauf hin, dass der Großteil des Atoms leer beziehungsweise nur mit wenigen Elektronen gefüllt ist. Ergebnis war das Rutherford'sche Atommodell, nach dem die Atome aus einem positiv geladenen Kern bestehen, der von den Elektronen umkreist wird.

### Entdeckung des Neutrons

[Weiter Rutherford-Modell] Doch wie sieht der Atomkern nun genau aus? Naheliegender wäre gewesen, dass er aus einer Sorte schwerer positiv geladener Teilchen besteht, Protonen genannt. Doch da gab es ein Problem: Elektronen, das wusste man bereits, sind sehr leicht. Die Masse eines Atoms ist also im wesentlichen die Summe der Protonenmassen. Helium-4 hat nun aber die Masse  $4u$ , aber nur zwei Außenelektronen. Wenn aber den zwei negativ geladenen Elektronen 4 positiv geladene Protonen gegenüberstehen, wäre das Atom insgesamt zweifach positiv geladen – das kann nicht sein, Atome sind immer neutral. Die Lösung war die Vermutung, dass sich im Atomkern neben den Protonen weitere Teilchen mit gleicher Masse, aber ohne Ladung befinden, die elektrisch neutralen Neutronen. Experimentell wurden diese 1932 von James Chadwick nachgewiesen, mit einem ähnlichen Experiment wie bei Rutherford. Damit schien 1932 das Rätsel um die Struktur von Materie gelöst: Atome bestehen aus einem kleinen Kern aus Protonen und Neutronen sowie den Elektronen, die den Kern umkreisen.