

Streuexperimente

Streuexperimente

Auch wenn sich alle Teilchen des Teilchenzoos *in der Theorie* perfekt mit den Quarks als Bausteinen erklären ließen, stand der experimentelle Beweis, dass es sich bei den Quarks um real existierende Teilchen und nicht um eine rein mathematische Fiktion handelt, noch aus. Mit welchem Experiment könnte man beweisen, dass Hadronen tatsächlich aus Quarks aufgebaut sind?

Nehmen wir an, wir sind ohne Taschenlampe in eine dunkle Höhle gefallen, haben aber leuchtende Basketballbälle dabei. Plötzlich hören wir etwas rascheln – was könnte das gewesen sein?

Um das herauszufinden, schießen wir verzweifelt Bälle in die Richtung des Geräusches und merken uns, wo der Basketball auftrifft. Auf diese Weise bekommen wir schnell einen Umriss des Wesen, das vor uns steht.

Weil jedoch Basketballbälle so groß sind, ist nur der grobe Umriss einer riesigen und breiten Gestalt zu erkennen. Versuchen wir es daher mit deutlich kleineren Tennisbällen. Das Ergebnis ist etwas besser, aber noch lange nicht zufriedenstellend.

Wiederholt man das Ganze nun mit kleinen Murmeln, so erhalten wir ein ziemlich genaues Bild unseres Gegenübers – unser definitiv letzter Gedanke ist also: man benötigt möglichst kleine Geschossteilchen, um eine gute Auflösung und ein genaues Bild zu erhalten.

Ein ähnliches Prinzip wird in einer Elektronenbeugungsröhre angewandt: In einer Elektronenbeugungsröhre werden an der Glühkathode austretende Elektronen mit einer Hochspannung zur Anode hin beschleunigt, bevor sie auf eine dünne Graphitfolie treffen. Ziel ist es, aus der Ablenkung der Elektronen am Graphit Rückschlüsse auf die Struktur des Graphits zu ziehen, z.B. den Abstand zwischen den Ebenen der Kristallstruktur zu bestimmen.

Sieht man Elektronen als Teilchen an, so würde man erwarten, dass diese geradlinig durch die Gitterstruktur des Graphits hindurchfliegen.

[Video1] Auf dem Leuchtschirm beobachtet man aber nicht nur einen hellen Leuchtfleck in der Mitte, sondern Beugungsringe um das Hauptmaximum herum. Ein solches Interferenzmuster ist uns bekannt von der Beugung von Licht, also einem typischen Wellenphänomen. Haben also Elektronen nicht nur Teilchen-, sondern auch Welleneigenschaften? Nachdem Einstein die Dualität von Welle und Teilchen für das Licht eingeführt hatte, postulierte der französische Physiker deBroglie, dass auch Materie – bisher als teilchenartig angesehen – Welleneigenschaften zuzuschreiben sei. Als Formel für die Materiewellenlänge stellte deBroglie die folgende Gleichung auf:

die Wellenlänge λ eines Teilchens ist der Quotient aus Planck'schem Wirkungsquantum h und Impuls p des Teilchens.

Die Wellenlänge eines Elektrons ist also umgekehrt proportional zu seinem Impuls, also seiner Geschwindigkeit. Schnelle Teilchen haben eine viel kleinere Wellenlänge. Wie wirkt sich dies im Experiment aus?

[Video2] Drehen wir die Beschleunigungsspannung in der Elektronenbeugungsröhre wieder herunter. Bei niedrigen Beschleunigungsspannungen, beispielsweise 100 V, ist kein Beugungsbild zu sehen.

[Woran könnte das liegen?

Die Kristallstruktur der Graphitfolie in der Elektronenbeugungsröhre hat Abstände von 142 und 246 Pikometern. Elektronen, die mit 10 kV beschleunigt wurden, haben eine deBroglie-Wellenlänge von 12,7 Pikometer, sind also deutlich kleiner als die Kristallstruktur. Damit sind die Elektronen – wie die Murmeln in der Höhle des Bären – klein genug, um an der Gitterstruktur gebeugt zu werden, die Kristallstruktur lässt sich über das Interferenzbild berechnen.

Die deBroglie-Wellenlänge von Elektronen, die mit nur 100 V beschleunigt wurden, beträgt dagegen 123 Pikometer – ist also fast genau so groß wie die zu untersuchende Kristallstruktur von 142 Pikometern. Damit sind die Elektronen bei dieser Beschleunigung vergleichbar mit den viel zu großen Basketbällen, mit denen der Bär in der Höhle nicht zu erkennen war.]

Das heißt: wir brauchen möglichst kleine Geschossteilchen, um kleine Strukturen zu untersuchen. Kleine Geschossteilchen heißt: Teilchen mit kleiner deBroglie-Wellenlänge. Da diese umgekehrt proportional zum Impuls der Teilchen ist, benötigen wir also Teilchen mit hohem Impuls, also sehr schnelle Teilchen, das heißt starke Teilchenbeschleuniger.

Existenznachweis der Quarks

Um nun herauszufinden, ob Hadronen wie zum Beispiel das Proton tatsächlich aus Quarks aufgebaut sind, muss man sie mit extrem schnellen Elektronen beschießen, deren deBroglie-Wellenlänge kleiner als die Quarks selbst ist.

Dies wurde 1970 in Stanford / USA durchgeführt. Auf 20 Gigaelektronenvolt beschleunigte Elektronen schoss man dort auf Protonen.

Erwartungsgemäß wurden die meisten Elektronen kaum abgelenkt und durchquerten das Proton geradlinig. Wie bei Rutherford war die Anzahl der unter großen Winkeln gestreuten Teilchen allerdings überraschend groß! Bei Rutherford ließ sich dies damit erklären, dass Atome einen kleinen, harten Kern mit positiver Ladung besitzen. Analog dazu lag auch bei der Streuung der Elekt-

ronen am Proton der Schluss nahe, dass die Elektronen an mehreren punktförmigen geladenen Objekten innerhalb des Protons gestreut worden sind, wodurch die Existenz der Quarks als fundamentale Bausteine der Hadronen bewiesen war.