

Offene Fragen der Teilchenphysik

Higgs-Teilchen

Das Standardmodell hat sich zwar außerordentlich bewährt – fast alle Phänomene lassen sich mit den 12 Materieteilchen und 4 Kraftteilchen erklären – eines aber wird überhaupt nicht berücksichtigt: die Masse der Teilchen. Diese kommt im Standardmodell überhaupt nicht vor. Um nun den 16 Teilchen des Standardmodells eine Masse zu verleihen, führte Peter Higgs 1964 ein zusätzliches Feld ein, das Higgs-Feld. Dieses Feld soll das gesamte Universum als eine Art „Hintergrundfeld“ ausfüllen und die Masse der Teilchen mit folgendem Mechanismus hervorrufen:

Das Higgs-Feld kann man sich als Party-Gesellschaft vorstellen, die den gesamten Raum ausfüllt. Ein berühmter Gast will den Raum durchqueren – der Gast steht für ein Teilchen aus dem Standardmodell, z.B. ein Elektron oder ein Quark.

Der berühmte Gast wird aber von den Gästen umringt und kommt deshalb nur schwer voran – analog macht das Higgs-Feld die Teilchen schwer. Dies ist der Higgs-Mechanismus, der Elektronen, Quarks und den anderen Teilchen ihre Masse verleihen soll.

[Video1]

Wie bei den anderen Kräften, gehört auch zum Higgs-Mechanismus ein Teilchen. Anschaulich kann man sich das so vorstellen, dass ein Gerücht in die Party-Gesellschaft, die ja das Higgs-Feld darstellt, gerufen wird, wodurch alle zusammenkommen und über die Nachricht tuscheln. [Video2] Genauso sollte es auch möglich sein, durch eine Anregung bei hohen Energien ein Higgs-Teilchen zu erzeugen. Dies ist bisher allerdings noch nicht gelungen, so dass der Higgs-Mechanismus reine Theorie ist. Da das Higgs-Teilchen eine relativ große Masse besitzen sollte, konnte es mit den bisherigen Beschleunigern noch nicht erzeugt werden.

Supersymmetrie

In der Theorie der Supersymmetrie fordert man, dass es eine vollständige Symmetrie zwischen Wechselwirkungen und Teilchen gibt. Jedes Kraftteilchen besäße demnach einen Materie-Partner, für das Photon beispielsweise „Photino“ genannt oder „Gluino“ als Partnerteilchen des Gluons. Umgekehrt hätten auch Materieteilchen wie Elektron oder Quarks einen Partner, „Selektron“ und „Squarks“ genannt.

Wenngleich die Supersymmetrie in der Lage wäre, einige unbekannte Phänomene zu erklären, so ist bisher noch kein einziges der supersymmetrischen Teilchen entdeckt worden.

Dunkle Materie und dunkle Energie

Astronomen und Astrophysiker stießen auf das Problem, dass sich die Rotation von Galaxien nicht durch die Gravitationsgesetze erklären ließ: die Geschwindigkeit der Galaxien war viel größer, als die Gravitationsgesetze es für die Masse der beteiligten Materie gestatteten. Es musste also noch eine weitere Form von Materie geben, die unsichtbar ist, aber Gravitationskräfte ausübt, „dunkle Materie“ genannt. Bei diesen bisher unentdeckten Teilchen könnte es sich um supersymmetrische Partner bekannter Teilchen handeln. Nach den Berechnungen müsste sogar der größte Teil des Universums aus dunkler Materie und dunkler Energie bestehen, während die sichtbare, uns bekannte Materie lediglich 4% des Universums ausmacht.

Der Large Hadron Collider

Es gibt also noch einige offene Fragen, die sich mit dem Standardmodell nicht erklären lassen. Das Higgs-Teilchen wurde noch nicht entdeckt, und auch supersymmetrische Teilchen und dunkle Materie wurden bisher nirgendwo nachgewiesen. Aus diesem Grund entsteht am europäischen Kernforschungszentrum CERN bei Genf der größte und stärkste Teilchenbeschleuniger der Welt: der Large Hadron Collider. In einem 27 km langen unterirdischen Tunnel werden Protonen mit einer Energie von 14 Teraelektronenvolt aufeinander geschossen. [Video] Vier Detektoren untersuchen die bei den Teilchenkollisionen entstehenden neuen Teilchen. Dank der hohen Energie, ein Vielfaches höher als die bisheriger Teilchenbeschleuniger, werden am LHC auch sehr schwere Teilchen erzeugt – Energie wird dabei in Masse umgewandelt, und nach Einsteins Gleichung $E=mc^2$ ist für eine möglichst hohe Masse eine möglichst große Energie erforderlich. Higgs- und Supersymmetrie-Teilchen, alle recht schwer, wurden an bisherigen Beschleunigern nicht gefunden. Vielleicht gelingt es aber am Large Hadron Collider, dank der deutlich größeren Energie neue, unbekannte Teilchen zu erzeugen und wichtige Fragen zu klären.