

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

Antimaterie wird nur langsam wegbewiesen

Materiell ist sie, unsere Welt. Und doch müsste sie symmetrischen Erwägungen zufolge aus purer Energie bestehen. Energie nämlich bleibt übrig, wenn Materie und Antimaterie zusammenkommen. Materiell ist unsere Welt dann deshalb, weil Materie und Antimaterie im Universum nicht symmetrisch verteilt sind: Es gibt viel mehr Materie als Antimaterie. Im Umkreis von einer Milliarde Lichtjahren konnte nirgends Antimaterie nachgewiesen werden, die nicht in Labors künstlich erzeugt worden wäre. Eine Erklärung dieser Asymmetrie im Weltall verspricht man sich von Experimenten in Teilchenbeschleunigern. Forscher aus Stanford in Kalifornien und Tsukaba in Japan haben nun die Daten ihrer Beschleuniger ausgewertet und eine Lücke der Elementarteilchenphysik geschlossen. Die ungleiche Verteilung von Materie und Antimaterie ist damit aber noch nicht geklärt.

In den Teilchenbeschleunigern werden Teilchen elektromagnetisch so stark beschleunigt, bis ihre kinetische Energie hoch genug ist, um bei der Kollision mit einem anderen Teilchen in ihre elementaren Bausteine zu zerfallen. Die Zerfallsprodukte sind derart vielgestaltig, dass bis heute ein wahrhafter Teilchenzoo entstanden ist. Klassifiziert sind die Teilchenarten im Standardmodell der Teilchenphysik anhand dreier Kräfte und etwa einem Dutzend Elementarteilchen: Im Standardmodell ist wiedergegeben, wie Teilchen aufgebaut sind und wie sie dementsprechend zerfallen.

Der gesamten Physik zugrunde liegen Annahmen wie die Erhaltung der Energie, die auch für die Teilchenphysik axiomatische Geltung besitzen. Zu diesen Annahmen zählen auch solche der Symmetrie. So sollte sich ein physikalischer Vorgang in eine wie die andere Richtung in derselben Weise ereignen, also auch in spiegelverkehrter Richtung gleich ablaufen: rechts und links gelten einerlei. Dem ist aber nicht ganz so. Offensichtlich bevorzugt Materie die Linkshändigkeit vor der Rechtshändigkeit: Beim Beta-Zerfall haben die den Atomkern verlassenden Elektronen grundsätzlich einen linksdrehenden Eigendrehimpuls, den so genannten Spin. Damit aber ist die räumliche Symmetrie verletzt.

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

Gerettet werden konnte der Gedanke der Symmetrie in der Physik vorerst dadurch, dass gespiegelte Vorgänge dann identisch mit den nicht gespiegelten abliefen, wenn die Teilchen durch ihr Antiteilchen ersetzt wurden. Ein Teilchen verhielte sich dann vor dem Spiegel genau so, wie sich ein Teilchen mit gleicher Masse, aber entgegen gesetzter Ladung im Spiegel verhielte. Und in der Tat besitzt das Antiteilchen des Elektrons, das Positron, im Beta-Zerfall einen Spin mit Rechtsdrehung. Demnach sollten sich die physikalischen Gesetze nicht ändern, wenn alle Raumkoordinaten gespiegelt und gleichzeitig alle Teilchen durch Antiteilchen ersetzt würden. Doch auch diese Symmetrieannahme wird in der Natur verletzt: K-Mesonen und ihre Antiteilchen zerfallen verschieden. Das führte Andrej Sacharow schließlich zu der Vermutung, dass es sich bei der Verletzung der Symmetrie um eine fundamentale Eigenschaft der Materie handeln könnte, die eine Voraussetzung dafür ist, dass es im Universum mehr Materie als Antimaterie gibt.

Der Schlüssel zu Materialität und Symmetrie des Universums könnte demnach in der schwachen Wechselwirkung liegen. Die schwache Wechselwirkung zählt zu den Grundkräften des Standardmodells. Sie wirkt weder anziehend noch abstoßend, sondern bewirkt eine Umwandlung der Teilchen. Die schwache Wechselwirkung löst den Beta-Zerfall aus, bei dem im eigentlichen Sinne ein Atom nicht zerfällt, sondern dessen elementarste Bausteine ineinander übergehen. Das heißt: Die Symmetrieverletzung tritt auf, wenn durch die schwache Wechselwirkung die elementarsten Bausteine, Quarks geheißen, sich in Quarks mit anderer elektrischer Ladung umwandeln. Dabei kennt das Standardmodell sechs verschiedene Quarks, die jeweils ein oder zwei Drittel der Elementarladung positiv oder negativ tragen.

Wie ein Quark aus dem andern wird, lässt sich mathematisch in einer Matrix abbilden. Die Cabibbo-Kobayashi-Maskawa-Matrix ist quadratisch und besteht aus neun Feldern. Die Felder stehen für mögliche Kombinationen von Quarks, die sich immer zur ganzzahligen Elementarladung ergänzen. Weil die Felder bestimmte mathematische Gleichungen erfüllen müssen, wird die Cabibbo-Kobayashi-Maskawa-Matrix unitär geheißen. Dadurch wird den physikalischen Eigenschaften der Elementarteilchen formal Rechnung getragen und ihre räumliche Struktur berücksichtigt. Jede Spalte der Matrix bildet einen mathematischen Term in

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

diesen Gleichungen, der als Vektor in der komplexen Ebene dargestellt werden kann. Alle drei Vektoren hintereinander ausgeführt ergeben die Summe der Gleichung. Weil diese Null ist, bilden die Vektoren ein Dreieck, man spricht von einem Unitaritätsdreieck. Weil ein Vektor des Dreiecks der Einheitsvektor ist, wird dass das Dreieck allein durch den dritten Punkt definiert. Die Fläche des Unitaritätsdreiecks gibt das Ausmaß der Asymmetrie der Umwandlungen bzw. des Zerfalls an.

Laut Theorie müssten die größten Asymmetrien dort auftauchen, wo schwere Quarks zu einer Elementarladung kombiniert werden. Deshalb bieten sich für Untersuchungen der fundamentalen Eigenschaften der Materie unter schwacher Wechselwirkung B-Mesonen an, die aus einem schweren Bottom-Quark und dessen Antiquark bestehen, fünfmal schwerer sind als ein Proton und sehr rasch zerfallen. Mehrere hundert Millionen Exemplare dieser B-Mesonen wurden in den Teilchenbeschleunigern in Stanford und Tsukuba erzeugt, um festzustellen, wie weit die Umwandlungen von Quark und Antiquark sich unterscheiden und so Auskunft darüber zu erhalten, in welchem Verhältnis Materie und Antimaterie zueinander stehen.

Bisher konzentrierten sich die Messungen an den Beschleunigern auf die Länge der Schenkel des Unitaritätsdreiecks. Jetzt ist es den amerikanischen und japanischen Wissenschaftlern erstmals gelungen, alle drei Winkel sehr genau anzugeben. „Ausgehend von den Asymmetriemessungen können wir mit Sicherheit behaupten, dass das Unitaritätsdreieck wirklich eine geschlossene Fläche hat“, sagt David MacFarlane vom Zentrum für Linearbeschleunigung in Stanford. Seine Forschungsergebnisse sind nicht nur konsistent mit den Werten, die bisher für die Länge der Dreiecksschenkel gefunden wurden, sie belegen auch, dass die schwache Wechselwirkung bei Mesonen den Anforderungen an die Unitarität genügt: die Entstehung von Quarks ist ausgezeichnet vor der von Antiquarks. Das reicht jedoch nicht aus, um letztlich erklären zu können, weshalb die Welt aus Materie und nicht aus Antimaterie besteht. Dazu ist die Fläche, die vom Unitaritätsdreieck beschrieben wird, viel zu klein.