

Standardmodell der Elementarphysik - Teil 1: Die Elementarkräfte

Die Physik wurde lange Zeit weitgehend von der Mechanik bestimmt. Newton und Galileo gehörten zu den ersten, die versuchten, die Bewegung und Beziehungen zwischen den Körpern zu erklären und zu beschreiben. Wichtige Meilensteine waren die Newtonschen Gesetze zur Definition von Kraft und Masse, das Newtonsche Gravitationsgesetz sowie die Fallgesetze von Galileo. Mit Newton begann auch der Versuch, die Erscheinung des Lichtes in einen physikalischen Rahmen zu bringen. Mit der Elektrizität und ihren Gesetzen trat dann ein weiterer Zweig der Physik, die Optik/Elektrotechnik in den Mittelpunkt der Forschungen. Besonders wichtig war die Lorentz-Transformation, die auch Einstein zu seinen Gleichungen in der speziellen Relativitätstheorie inspirierte. Die Einstein'schen Grundlagenforschungen fanden ihren Höhepunkt in der Allgemeinen Relativitätstheorie, die vereinfacht ausgedrückt das Newtonsche Gravitationsgesetz verallgemeinerte bzw. zu einem Spezialfall für kleine Geschwindigkeiten und Beschleunigungen machte. Mit den Einstein'schen Formeln aus der Allgemeinen Relativitätstheorie konnten die Astronomen viele aus Newtons Gesetzen herrührende Lücken schließen (z.B. stimmte jetzt die Drehung des Perihels des Merkurs mit den Messergebnissen überein) und ein Standardmodell der Kosmologie schaffen.

Konnten die makroskopischen Erscheinungen mit den genannten Gesetzen sehr gut beschrieben werden, startete Anfang des 20. Jahrhunderts eine völlig neue Disziplin, die Quantenphysik/Quantenmechanik, die Lehre von den kleinsten Bausteinen. Mit der Entdeckung, dass die Atome nicht unteilbar sind, sondern aus kleineren Bausteinen bestehen, kam sofort die Frage auf: Warum sind Atome aber stabil? Nach der gängigen Meinung, der Maxwell'schen Gesetzen der Elektrotechnik, müssten eigentlich die Elektronen innerhalb von Bruchteilen von Sekunden in den Kern stürzen. Max Planck brachte mit seinem Ansatz, es gibt eine kleinste Energieeinheit, das Planck'sche Wirkungsquantum, eine plausible Erklärung, die sich in vielen Experimenten als richtig erwies. Da die Energie nur in Vielfachen des Planck'schen Wirkungsquantums übertragen werden kann, ist eine eigene Energieabgabe der Elektronen nicht möglich. Deshalb muss eine Anregung von außen erfolgen, wenn ein Elektron seine Bahn ändern soll.

Die Welt der Quanten stellte sich mit zunehmender Erkenntnis als höchst merkwürdig heraus und war mit unseren alltäglichen Erfahrungen nicht zu erklären. Neben den bekannten Teilchen der Atome - die um den Atomkern kreisenden Elektronen sowie die den Atomkern bildenden Protonen und Neutronen - wurden immer neue Teilchen entdeckt und klassifiziert. Erst nach und nach wurden die Beziehungen zwischen den Teilchen erkannt. So entdeckte man in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhundert, dass die Protonen und Neutronen im Gegensatz zu den Elektronen teilbar sind. Sie bestehen aus noch kleineren Teilchen.

Um die neue und alte Welt sowie beide Seiten der Physik (allgemeine Relativitätstheorie und Quantenmechanik) erklären zu können, wurde vier Elementarkräfte eingeführt:

- Die bekannte Gravitation, die die Bewegung der Gestirne und das Netherunterfallen von der Erde erklärt. Sie wirkt über große Entfernungen bis ins Unendliche, ist aber - auf gleiche Entfernung bezogen - die weitaus schwächste Kraft (um vielen Größenordnungen schwächer als die anderen). Sie entzieht sich bisher auch der Beschreibung durch das Standardmodell der Quantenmechanik.
- Die Elektromagnetische Kraft, die das Licht, die Wärme, die Röntgenstrahlung und die Elektrizität erklärt und ebenfalls über große Entfernungen wirkt.

- Die Starke Kernkraft, die nur in der Größenordnung des Atomkerns wirkt und diesen zusammenhält. Sie ist verantwortlich dafür, dass Protonen und Neutronen nicht spontan zerfallen.
- Die Schwache Kernkraft, die für den spontanen Zerfall von Elementen verantwortlich ist (radioaktive Elemente). Sie sorgt für die Umwandlung von Protonen in Neutronen und ermöglicht somit die Kernfusion in der Sonne und die Energiegewinnung durch Kernspaltung (Atomenergie). Sie wirkt auch nur auf sehr kurze Distanzen.

Mit Ausnahme der Gravitation, die um ca. 40 Größenordnungen kleiner ist, liegen die anderen Kräfte dagegen relativ nah beieinander (ca. drei bis vier Größenordnungen Unterschied). Dies ermöglichte, durch Experimente unterstützt, die Zusammenführung dieser Kräfte (Schwache und Starke Kernkraft sowie Elektromagnetische Kraft) in einem theoretischen Modell, dem Standardmodell der Elementarphysik. Somit gibt es genau genommen zwei „Physiken“:

- das Standardmodell der Quantenphysik mit den drei Elementarkräften (starke, schwache Kernkraft und elektromagnetische Kraft)
- Allgemeine Relativitätstheorie mit dem Standardmodell der Kosmologie (Gravitationskraft)

Neueste Forschungen und Beobachtungen ergaben jedoch ein seltsames Bild des Weltalls. Die über das Standardmodell definierte Materie macht nur 5% (in Worten fünf Prozent) der vorhandenen Gesamtmaterie aus.

Die erste Erkenntnis, die zu diesem überraschenden Ergebnis führte, war die Stabilität der Galaxien, also auch unserer Milchstraße. Wenn die Galaxien nur aus der uns bekannten und sichtbaren Materie bestehen würde, müssten sie nach den Gesetzen der Gravitation und dem Standardmodell der Kosmologie (Gesetze von Kepler, Newton und Einstein zur Gravitation) auseinanderfliegen. Die Rotationsgeschwindigkeit der Sterne nimmt mit zunehmendem Abstand vom Zentrum der Galaxien nicht ab, sondern bleibt ab einem bestimmten Abstand etwa konstant (**Bild 1**). Da kam die Frage auf: was hält die Galaxien zusammen? Die Astronomen nannten diesen „Kleber“ der Galaxien Dunkle Materie, weil diese Materieart nicht sichtbar ist. Sie wirkt nur über die Gravitation. Bisher konnte keine Wechselwirkung mit der sichtbaren Materie über die bekannten Mechanismen der anderen drei Kräfte registriert werden. Es konnte bisher auch nicht nachgewiesen werden, woraus sie besteht. Erste Erklärungsversuche gehen von bisher unbekanntem Teilchen aus. Aber welcher Art diese Teilchen sind, ist ein Streitthema in der Wissenschaft.

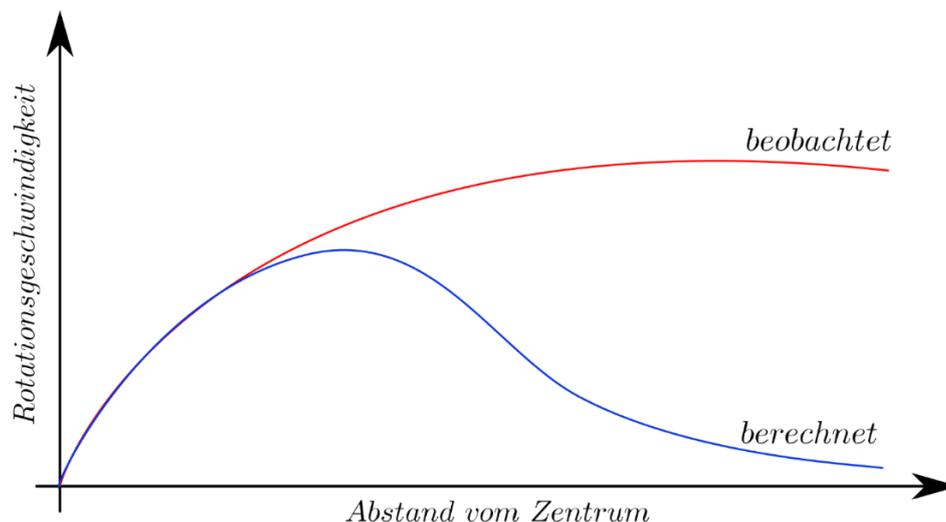


Bild 1: Verlauf der Rotationsgeschwindigkeit der Sterne in Galaxien in Abhängigkeit vom Abstand ¹

Die Dunkle Materie ist nach den Beobachtungen etwa fünfmal häufiger als die sichtbare Materie und macht ca. 25% der Gesamtmaterie aus.

Die restlichen 70% der wahrscheinlichen Gesamtmasse unseres Universums sind noch seltsamer (ja, es wird noch exotischer). Ein zweites stärkeres Phänomen wirkt sich nämlich auf die Galaxienhaufen aus, also auf Ansammlungen von Galaxien. Messungen aus Beobachtungen ergaben, dass sich im kosmischen Maßstab die Galaxien voneinander entfernen. Es muss also eine Kraft wirken, die der Anziehungskraft der Galaxien untereinander entgegenwirkt. Da sich das Auseinanderdriften der Galaxien stetig beschleunigt, muss eine weit größere Kraft als die der Dunklen Materie existieren. Man hat die Kraft entsprechend zur Dunklen Materie Dunkle Energie genannt. Da sich die Auseinanderdrift beschleunigt, muss die Dunkle Energie, manchmal auch Quintessenz genannt, stetig zunehmen. Sie macht rund 70% der Gesamtmaterie im uns bekannten Weltall aus. Alle bisherigen Erklärungsversuche sind dabei eher Spekulationen ohne konkrete Beweise. Hier sind noch sehr viel Grundlagenforschung und viele Beobachtungen erforderlich, um Erklärungen zu finden.

Also kurzgefasst, aktuell kann das Standardmodell der Elementarphysik nur 5% unseres Weltalls erklären. Aber trotzdem ist es sehr hilfreich, da wir auch hauptsächlich mit genau diesen 5% im täglichen Leben konfrontiert werden. Unsere „normale“ Welt kann damit erklärt werden und ihre Effekte können vorherbestimmt werden.

Quelle:

¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Dunkle_Materie#/media/Datei:Dark_matter_diagram.svg