

Harald Lesch

KOMPLETTMEDIA TB

Universum für Neugierige

Vom Urknall bis heute

Mit Prof. Lesch
im Hörsaal

KOMPLETTMEDIA

Gravitation

Kommen wir auf die im Hinterkopf behaltene dritte Kraft zurück: die Gravitation. Einfach ist ihre Erklärung nicht. Aber bleiben wir erst einmal bei dem, was greifbar ist. Am Ende schauen wir uns an, was nicht so einfach zu erklären ist.

Thema Reichweite: Es geht um die Reichweite der Kräfte. Die schwache Kernkraft wirkt nur innerhalb eines Kernbausteins, die starke Kernkraft innerhalb eines Atomkerns. Sie haben endliche Reichweiten. Die elektromagnetische Wechselwirkung, also die Kraft zwischen zwei Ladungen, hat im Prinzip eine unendliche Reichweite. Unendliche Reichweite bedeutet, die Kraft muss von einem besonderen Übertragungsmechanismus stammen. Die Gravitationskraft – jetzt bin ich endlich wieder da – hat so eine unendliche Reichweite.

Aber bei der Gravitationskraft gibt es keine unterschiedlichen Ladungen. Die Gravitationskraft, die Schwerkraft, die schwächste aller Kräfte, ist immer anziehend. Immer. Das macht ihre Stärke aus. Integriert in die Entwicklungszeit des Universums, gewinnt die Gravitation immer. Sobald irgendwo eine Verdichtung stattfindet, also ein bisschen mehr Masse als in der Umgebung, fängt dieses Etwas-mehr-Masse an, die ganze Umgebung anzuziehen. Das Material läuft genau dahin, wo vorher die Verdichtung war. Das Ganze wird noch dichter, die Gravitationskraft stärker, weil die Gravitationskraft proportional zur Masse ist. Je mehr Masse, umso stärker wird die Gravitation. So entleert sie das Universum.

Dass Sie nachts Sterne sehen, also Lichter, die sehr weit entfernt sind, Lichtkugeln, Gasbälle, hat nur etwas mit der Gravitation zu tun. Sterne sind entstanden, weil Gas unter seinem eigenen Gewicht zusammengefallen ist. Manche Sterne sind viele Tausend Lichtjahre von uns entfernt. Da fragt man sich: Wie kommt das Licht eigentlich zu uns? Gut, es ist mit 300.000 Kilometern pro Sekunde, also mit Lichtgeschwindigkeit, sehr schnell unterwegs. Aber wieso wird das Licht dabei nicht verschluckt? Antwort: ganz einfach. Zwischen uns und diesem Lichtball, diesem Lichtgeber da draußen, ist nichts, was das Licht verschlucken könnte. Mit anderen Worten: Zwischen uns und einem Stern, der zum Beispiel 25.000 Lichtjahre von uns entfernt ist, ist nichts, was das Licht absorbiert. Das Universum ist leer.

Für diese große Leere des Universums ist die Schwerkraft verantwortlich. Denn ursprünglich war die Materie im Universum gleichmäßig verteilt. Nur hier und da und dort gab es einige Verdichtungen. Diese Verdichtungen haben dazu geführt, dass das einigermaßen gleichmäßig verteilte Material in diese Verdichtungen geströmt ist, wie in ein Bassin. Die Materie hat sich an einigen wenigen Stellen konzentriert. Es bildeten sich Galaxien und Galaxiehaufen. Aber der größte Teil des Universums ist leer. Selbst innerhalb der Galaxien ist so gut wie nichts. Das ist die Wirkung der Gravitation.

Die Übertragung der Kräfte

Was die Gravitation wirklich ist, lässt sich nur ganz schwer sagen. Vor allen Dingen im Vergleich zu den anderen drei Kräften. Elektromagnetische Wechselwirkung, starke Kernkraft, die so stark ist, weil sie die Kerne gegen die elektromagnetische Abstoßung zusammenhält, und dazwischen die schwache Kraft, die dafür sorgt, dass manche dieser Kerne auch wieder radioaktiv zerfallen. Was ist das? Wie funktionieren diese Kräfte? Es ist ganz einfach so, dass der Austausch der Kraft in einem Atomkern sich mit einem Teilchen oder mit einem Übertragungsmechanismus vollzieht, der einer endlichen Masse entspricht. Mit anderen Worten, es werden tatsächlich Teilchen ausgetauscht. Man kann sich das so vorstellen: Zwei Leute in einem Ruderboot werfen sich einen Ball zu. So kriegen die etwas voneinander mit. Der Ball hat eine gewisse Masse. Wenn Masse aufgenommen wird, kommt es zum Schubs. Die beiden spüren sich gegenseitig, weil etwas ausgetauscht wird, was schwer ist. Starke und schwache Kernkraft werden durch Teilchen vermittelt, durch Makler, die eine endliche Masse besitzen. Aufgrund ihrer endlichen Masse können sie nicht beliebig weit wirken, sondern nur in einem winzig kleinen Bereich. Diese Teilchen, die da vermittelt werden, sind sehr schwer. Und sie sind fast nicht sichtbar zu machen.

Die elektromagnetische Wechselwirkung dagegen hat keine Ruhemasse, überhaupt keine, nichts. Deswegen kann sie unendlich weit reichen. Die elektromagnetische Wechselwirkung ist im Prinzip eine unendlich reichende Wechselwirkung. Eine Kraft, die überall wirkt. Aber durch die Tatsache, dass sie zwei Ladungen hat, ist sie letztlich doch beschränkt. Die Gravitation, also die Schwerkraft, müsste in diesem Bild, entsprechend der Theorie der modernen Elementarteilchenphysik, mit einem Teilchen verbunden sein, das ebenfalls keine Ruhemasse besitzt. Man kann sich nicht so ohne Weiteres vorstellen, was da eigentlich wirklich am Werk ist. Da sind ja keine Gummibänder dazwischen.

Was hält denn dann die Planeten unseres Sonnensystems auf ihren Bahnen? Und das immerhin seit 4,5 Milliarden Jahren. Wäre das nicht so, wären wir gar nicht hier. Wir sind der Beweis für die Stabilität des Sonnensystems. Also möchte man doch gerne wissen, welche Kräfte da am Werk sind! Newton hatte große Probleme mit seinem Gravitationsgesetz. Er überlegte, wenn Gravitation immer nur anziehend ist, wirklich alles zu sich zieht, wieso gibt es dann überhaupt noch irgendetwas? Wieso ist nicht schon längst alles zusammengefallen?

Die Urkraft

Noch heute ist das Problem nicht wirklich geklärt. Die Gravitation wird von der allgemeinen Relativitätstheorie als Krümmung der Raumzeit erklärt. Ich bitte Sie, »Krümmung der Raumzeit« – das ist doch keine Erklärung! Das ist doch auch nur ein Versuch, irgendetwas darzustellen, das man messen kann. Man misst tatsächlich, dass die Lichtwege in der Nähe von schweren Körpern gekrümmt sind. Aber was heißt das schon? Wieso bleiben wir hier am Boden stehen und fliegen nicht davon? Was hält uns eigentlich?

Einstein erklärt das so: Die Gravitation entspricht einer Beschleunigung, in dem Fall nach unten. Wir spüren es einfach, deshalb stehen wir hier fest auf der Erde. Im allgemeinen Kontext, der Frage nämlich, aus was die Welt denn nun besteht und wie sie funktioniert, kommt den Kräften eine überragende Bedeutung zu. Im speziellen Kontext der Naturwissenschaften und hier insbesondere der theoretischen Physik und noch spezieller im Bereich der theoretischen Astrophysik ist es noch viel, viel interessanter zu fragen: Gab es diese vier Kräfte schon immer, oder gab es am Anfang vielleicht eine Urkraft, aus der die vier Kräfte entstanden sind?

Ich möchte noch einmal daran erinnern: Der Erste, der gedacht hat, dass es eine Vereinigung aller Elemente zu einem fünften Element geben könnte, war Platon. Weil er sich in einer idealen Welt nur eine einzige Kraft vorstellen konnte, die dafür sorgt, dass aus ihr alles herausströmt. Die Vorstellung davon, dass sich ab einer bestimmten Temperatur, mit anderen Worten ab einer bestimmten Energie, im frühen Universum die Dinge zu einer Urkraft vereinigen, ist tatsächlich der große Antrieb für die Theorien, die in der modernen theoretischen Physik heutzutage gedacht werden. Es gibt gute Gründe, das so zu machen. In den 70er-Jahren des 20. Jahrhunderts wurden Theorien entwickelt und in den 80er- und 90er-Jahren des 20. Jahrhunderts Experimente gemacht, die diese Theorien bestätigt haben. Man hatte sich Folgendes überlegt: Ab einer bestimmten Temperatur dürften doch die schwache Kernkraft und die elektromagnetische Wechselwirkung gar nicht mehr zu unterscheiden sein. Wann könnte diese Temperatur erreicht sein? Es wurde gerechnet und festgestellt, dass dies ab 10^{15} Grad Kelvin der Fall ist. Das ist sehr heiß. Das kann man sich gar nicht vorstellen. Heute hat das Universum eine Temperatur von minus 271 Grad Celsius. 10^{15} Grad – egal, ob wir von Kelvin oder Celsius reden, da macht der Unterschied nicht mehr viel aus –, 10^{15} Grad, das wäre die Temperatur, bei der sich die massebehafteten Vermittler der schwachen Wechselwirkung ständig in Licht verwandeln können.

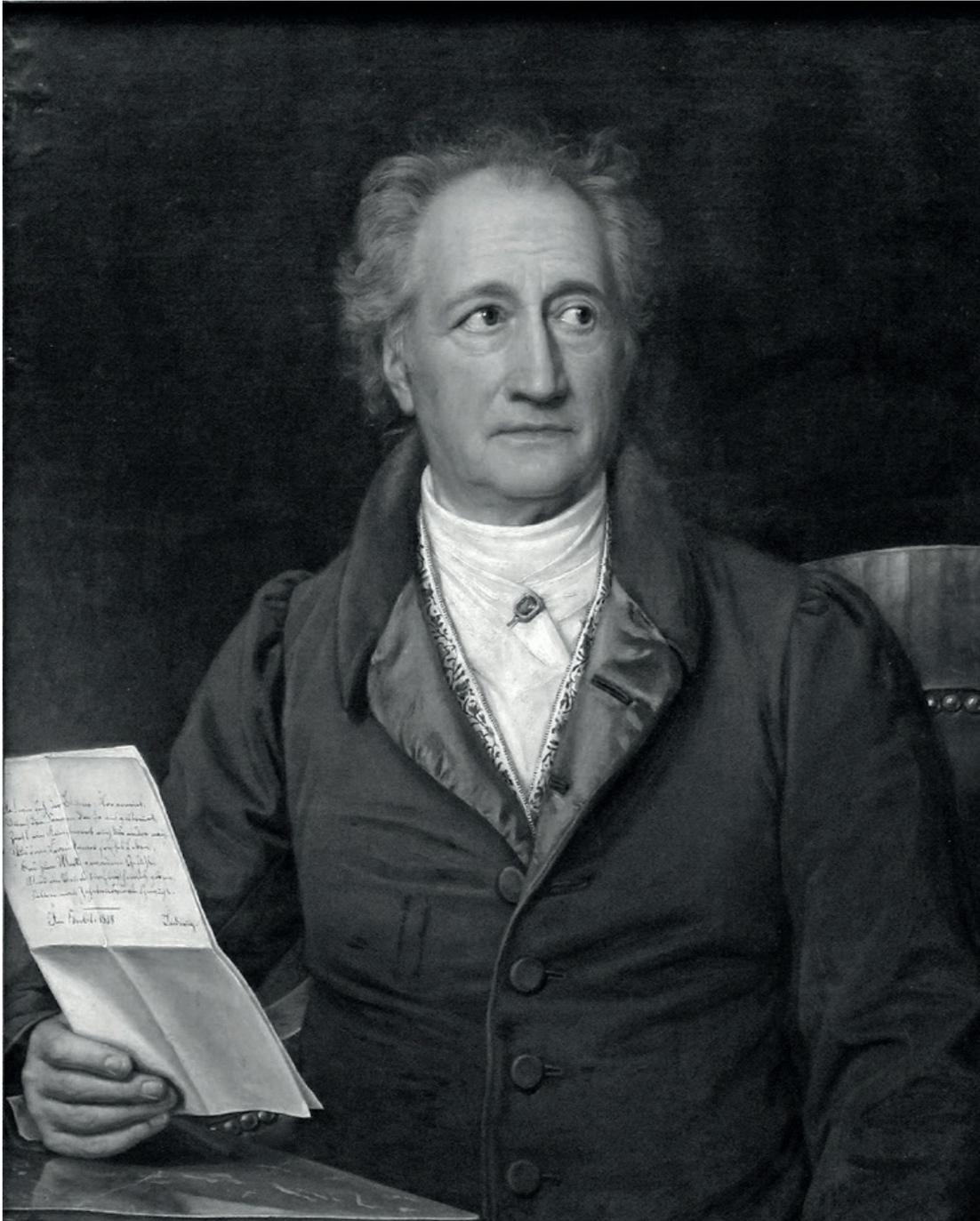
$E = mc^2$. Bei einer Temperatur von 10^{15} Grad gäbe es keinen Unterschied mehr zwischen den Teilchen und den Photonen. Offenbar gibt es da Prinzipien – so hat man es auch herausgefunden – die dann tatsächlich belegen: Ab 10^{15} Grad werden diese Wechselwirkungen gleich: die schwache Kernkraft und die elektromagnetische Kraft. Man kann natürlich noch weitere Temperaturen berechnen, zum Beispiel die,

bei der sich die starke Kernkraft mit diesen beiden Kräften vereinigt. Und man kann sogar ausrechnen, wann die Gravitation sich mit den anderen Kräften vereinigt. Aber da ist man dann bei einer Welt angekommen, die mit der unseren überhaupt nichts mehr zu tun hat. Gar nichts mehr. Das ist eine Temperatur jenseits von Gut und Böse in einem Universum, das sehr, sehr klein ist.

Das große Ganze

Das Erstaunliche ist, dass wir Menschen über uns hinausdenken und uns in eine Welt hineinversetzen können, die wir definitiv noch niemals erfahren und für die wir nicht den leisesten Sinneseindruck haben. Thales hat am Anfang gesagt: »Urprinzip ist das Wasser. Ich sehe, wie die Dinge sich im Wasser verändern und alles hin zum Wasser strebt. Das ist für mich das Urprinzip.«

Heute könnte man sagen, Urprinzip ist die große Vereinigung bei einer Temperatur, die man zwar hinschreiben kann, die sich aber menschlicher Vorstellungskraft entzieht. Da sehen Sie, wie groß die Reise ist, die man von den Anfängen der Philosophie in die heutige moderne Naturwissenschaft macht. Die damalige Wissensexpllosion und die Flut an Informationen, die noch darauf warten, geordnet und in einem neuen Naturbild zusammengefasst zu werden, sind weiter am Werk. Naturwissenschaften zu betreiben ist die griechische Art, über die Natur nachzudenken. »In Kunst und Wissenschaft sowie in Tun und Handeln kommt alles darauf an, dass die Objekte rein aufgefasst und ihrer Natur gemäß behandelt werden.« Dieser Satz stammt von Goethe.



Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832) war einer der großen deutschen Dichter und Denker.

Goethe war einer der ganz Großen, nicht nur als Schriftsteller, sondern als Denker. Er steht für ein Weltbild – Weltbild, nicht Naturbild –, das man ganzheitlich nennt. Das Universalgenie hat sich nicht so sehr für die Details interessiert, sondern für das