

Ein Blick in die Werkstatt der Schöpfung

Einleitung

In dem Buch „Das Leben, das Universum und der ganze Rest“ aus der Reihe „Per Anhalter durch die Galaxis“ des amerikanischen Science-Fiction Autors Douglas Adams¹ wird der Bau eines riesigen Supercomputers beschrieben, der so groß wie eine Kleinstadt war, und „DeepThought“ genannt wurde. Diesem Rechner wurde die Aufgabe gegeben, die Frage aller Fragen, nämlich die nach dem Leben, dem Universum und dem ganzen Rest, zu lösen. Dies tat er auch und nach genau 7,5 Millionen Jahren lautete seine Antwort: 42. Der tiefere Grund für diese offensichtlich nichtssagende Antwort war, dass die Frage an den Computer schlecht gestellt und formuliert war.

Die Physiker können jedoch heute sehr wohl sinnvolle Fragen über den Zusammenhang zwischen dem Leben und dem Universum stellen. In diesem Beitrag wird über ein solches wissenschaftliches Projekt an der Technischen Universität Wien berichtet. Zunächst werden wir uns mit dem Aufbau und der Entwicklung des Universums beschäftigen.



Abb. 1. Galaxien wie diese beinhalten bis zu mehreren hundert Milliarden Sterne [NASA].

Aufbau und Entwicklung des Universums

Die Sterne sind im Universum nicht gleichmäßig verteilt, sondern bilden Galaxien (Abbildung 1), die durch die Schwerkraft der gesamten Materie zusammengehalten werden. Die Milchstraße, in der sich unser Sonnensystem befindet, umfasst mindestens hundert Milliarden Sterne. Galaxien bilden wieder Galaxienhaufen, in denen sich bis zu mehrere tausend Galaxien zusammenfinden können (Abbildung 2). Der Raum zwischen den Sternen ist jedoch nicht leer, sondern es befinden sich dazwischen die sogenannten interstellaren Wolken, das sind ausgedehnte Staub- und Gaswolken (Abbildung 3).

¹ Douglas Adams, Das Leben, das Universum und der ganze Rest, Heyne Taschenbücher, München, 1999.



Abb. 2. Galaxien sammeln sich auf Grund der Schwerkraft zu Galaxienhaufen zusammen. Hier zu sehen der Coma-Haufen [NASA].

Nach heutiger Ansicht entstand das Universum vor 14 Milliarden Jahren in einem heißen Urknall. Das Universum war in den ersten Bruchteilen der ersten Sekunde so heiß, dass es zunächst nur aus Fundamentarteilchen bestand. Das Universum kühlte sich durch seine Ausdehnung rasch ab, so dass sich zunächst die Quarks zu den Protonen und Neutronen vereinigten. Etwa drei Minuten nach dem Urknall fusionierten dann Protonen und Neutronen hauptsächlich weiter zu Heliumkernen.

Die ersten Sterne haben sich innerhalb weniger hundert Millionen Jahre nach dem Urknall aus diesem Gas gebildet. Die erste Sternengeneration bestand demnach fast ausschließlich aus Wasserstoff und Helium. Wenn es die Sterne nicht geben würde, bestünde unser Universum aus einer langweiligen Gaswolke aus Wasserstoff und Helium. Es gäbe dann keine Planeten wie die Erde, keine Gesteine und auch kein Leben. Durch Kernreaktionen im Innern der Sterne werden aber weitere chemische Elemente gebildet, darunter für das Leben so existentielle Stoffe wie Kohlenstoff und Sauerstoff. Leben besteht also im buchstäblichen Sinne des Wortes aus Sternenstaub. Am Ende ihres Lebens blähen sich die Sterne zu so genannten Roten Riesen auf. Auch unsere Sonne wird sich in etwa fünf Milliarden Jahren so entwickeln. Wenn der Energievorrat eines Roten Riesen zu Ende geht, stößt er die äußere Hüllen ab und wird als Planetarischer Nebel sichtbar. Sehr massereiche Sterne explodieren jedoch als Supernova. Dadurch werden die interstellaren Wolken immer mehr mit den in den Sternen erzeugten chemischen Elementen angereichert (Abbildung 3). Am Ende bleibt nur noch das Zentrum des ausgebrannten Sterns über: ein Weißer Zwerg, ein Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch.

Im Innern der interstellaren Wolken entstehen stets neue Sterne und Planeten. Auch unser Sonnensystem entstand in einer solchen Wolke vor etwa 4,6 Milliarden Jahren. Die in früheren Generationen von Sternen erzeugten Elemente dienten dem auf Kohlenstoff basierenden Leben als Bausteine. Bereits etwa eine halbe Milliarde Jahre nach der Entstehung der Erde gab es erste primitive Lebensformen. Es dauerte jedoch noch einmal etwa drei bis vier Milliarden Jahre, bis das Leben von den ersten primitiven Organismen die heutige Komplexität der Pflanzen, Tiere und des Menschen erreichen konnte.



Abb. 3. Der Raum zwischen den Sternen ist nicht leer. Dort befinden sich ausgedehnte Wolken aus Staub und Gas [NASA].

Feinabstimmung der grundlegenden Kräfte

Es gibt vier grundlegende Kräfte in unserem Universum: die Gravitation, die elektromagnetische Kraft, die schwache und starke Kernkraft. Wir wollen uns nun mit der Fragestellung beschäftigen, inwieweit die Stärke dieser Kräfte für die Existenz von Leben extrem fein abgestimmt sind.

Wie bereits dargestellt, werden die für das Leben notwendigen Elemente in Sternen erzeugt. Im so genannten Heliumbrennen der Roten Riesen ist dabei die grundlegende Kernreaktion der Tripel-Alpha-Prozess. In ihm vereinigen sich zunächst zwei Alphateilchen (Heliumkerne) zu einem Berylliumkern, der nur eine Lebensdauer von 0,000000000000001 Sekunden hat, bevor er wieder in zwei Alphateilchen zerfällt. In dieser kurzen Zeit muss der Berylliumkern ein weiteres Alphateilchen einfangen, um einen Kohlenstoffkern erzeugen zu können. Ein Teil des im Tripel-Alpha-Prozess entstehenden Kohlenstoffs wird dann im Heliumbrennen durch den Einfang eines weiteren Alphateilchens zum Sauerstoff weiter verbrannt. Die Möglichkeiten aufwändiger Computersimulationen bewogen uns dazu, den Tripel-Alpha-Prozess genauer zu untersuchen. Die konkrete Frage, die wir uns stellten, war: Wie sensitiv ist die Erzeugung von Kohlen- und Sauerstoff und damit die Existenz von Leben auf Kohlenstoffbasis auf Veränderungen von grundlegenden Kräften im Universum?

Das Ergebnis der Rechnungen für die Entstehung von Kohlenstoff durch den Tripel-Alpha-Prozess in Roten Riesen war verblüffend. Bereits minimale Variationen von etwa 0,5 % der Stärke und Reichweite der Kernkraft führen zu einer 30- bis 1000fachen Erniedrigung der Häufigkeit von Kohlenstoff oder Sauerstoff. Damit wäre Leben auf Kohlenstoffbasis extrem unwahrscheinlich. Nur Kohlenstoff hat nämlich die notwendigen Eigenschaften zur Bildung der komplexen und sich selbst organisierenden Moleküle, die für das Leben notwendig sind. Auf der anderen Seite ist auch die

Häufigkeit von Sauerstoff und damit auch des für das Leben unabdingbaren Wassers H_2O um das Hundert- bis Tausendfache kleiner. Sowohl bei Erhöhung als auch Verringerung der starken Kernkraft um 0,5 % wird also Leben extrem unwahrscheinlich, wenn nicht sogar gänzlich unmöglich.

Vom 29. August bis 1. September 2001 trafen sich im Haus des britischen „astronomer royal“ (Hofastronom), Sir Martin Rees, etwa 30 Kosmologen, Astrophysiker, Astronomen, Kern- und Teilchenphysiker, um zu diskutieren, inwieweit unser Universum für Leben maßgeschneidert ist. Als einziger Teilnehmer des gesamten deutschsprachigen Raums war der Autor dieses Beitrags eingeladen (Abbildung 4). Eine entscheidende Frage stand bei diesem Treffen zur Diskussion: Inwieweit ist unser Universum für die Existenz von Leben maßgeschneidert? Die oben diskutierte Arbeit über den Tripel-Alpha-Prozess wurde von den Konferenzteilnehmern als eines der überzeugendsten Beispiele für die Feinabstimmung des Universums für Leben angesehen.



Abb. 4. Stephen Hawking zusammen mit Heinz Oberhummer bei der Konferenz in Cambridge
[Foto: Max Tegmark].

Zusammenfassung

Wir können heute zumindest einige fundamentale Zusammenhänge zwischen der Existenz von Leben und den grundlegenden physikalischen Gesetzen und Parametern in unserem Universum verstehen. Dies liegt daran, dass Physiker im Gegensatz zu den Rechnungen des Supercomputers „Deep Thought“ sinnvolle Fragen an die Natur stellen können.

Autor:
Heinz Oberhummer
Atominstitut der Österreichischen Universitäten
Technische Universität Wien
Wiedner Hauptstr. 8-10/141
A-1040 Wien
Tel.: +43/1/58801/14256
E-mail: ohu@kph.tuwien.ac.at.