WIE NEUE ELEMENTE IN STERNEN BILDEN

Bevor die ersten Sterne leuchteten, war das Universum nur ein Meer aus Wasserstoff, Helium und der Restenergie des Urknalls. Die chemische Vielfalt im heutigen Universum ist darauf zurückzuführen, dass Sterne – praktisch riesige Atomfabriken – primitive Materialien in komplexere Elemente umwandeln und diese dann nach außen schleudern, wenn sie sterben.

View attachment 7717Innerhalb Sterne ist die Temperatur hoch genug, um die Elektronen von den Atomenkern abzureißen. Bei Wasserstoff lässt dies Einzelprotonen (und Elektronen), die um das Innere des Sterns wandern. Materie in diesem Zustand ist als Plasma bekannt. Aufgrund ihrer ähnlichen Ladungen stoßen Protonen gegenseitig ab, eher wie ähnliche Pole eines Magneten.

NEUE ELEMENTE IN STERNEN Tief im Kern des Sterns sind die Temperatur und der Druck jedoch hoch genug, um Protonen zusammenzudrücken. Dieser als Kernfusion bekannte Prozess setzt Energie frei und ist die Energiequelle des Sterns. Außerdem übt es einen nach außen gerichteten Druck aus, der der nach innen gerichteten Schwerkraft entgegenwirkt. Der einfachste Fusionsmechanismus wird Proton-Proton-Kette (oder pp-Kette) genannt. Im ersten Schritt verwandelt sich eines der verschmolzenen Protonen in ein Neutron, wodurch ein neues Proton-Neutron-Paar namens Deuteron entsteht. Dieses wird von einem anderen Proton beschossen, wodurch der Kern eines Helium-3-Atoms entsteht. Wenn zwei dieser Helium-3-Atome kollidieren, bilden sie zusammen mit zwei Protonen einen Helium-4-Kern, der den gesamten Prozess von vorne beginnen kann. Der deutsch-amerikanische Physiker Hans Bethe war maßgeblich an der Entdeckung dieses Prozesses beteiligt und erhielt für seine Arbeit 1967 den Nobelpreis für Physik. Entscheidend ist, dass die Gesamtmasse der Produkte der pp-Kette geringer ist als die Masse der in sie eintretenden Inhaltsstoffe. In der Sonne beispielsweise 620 Millionen Tonnen Jede Sekunde werden 616 Millionen Tonnen Wasserstoff (Protonen) in 616 Millionen Tonnen Helium umgewandelt.
Die fehlenden vier Millionen Tonnen Masse werden nach Einsteins berühmter Gleichung E = mc2 in Energie umgewandelt. Schließlich geht der Wasserstoff im Kern des Sterns zur Neige und die Schwerkraft zieht den Kern zusammen. Der daraus resultierende Temperaturanstieg ermöglicht die Übernahme eines neuen Fusionsmechanismus – des Triple-Alpha-Prozesses – einer, dessen Hauptbestandteil Helium-4-Kerne (Alpha-Partikel) sind. Dadurch können zwei Heliumkerne zu Beryllium und dann, unter Hinzufügung eines dritten Heliumkerns, zu Kohlenstoff verschmelzen. Bei kleineren Sternen wie der Sonne endet hier der Atomaufbauprozess. Größere Sterne können jedoch die Vielfalt chemischer Elemente weiter erhöhen; Sobald ein Fusionspfad erschöpft ist, zieht sich der Kern zusammen und die Temperatur steigt, um einen neuen in Gang zu setzen. Anschließend verschmilzt Kohlenstoff mit Helium zu Sauerstoff, der von einem weiteren Heliumkern bombardiert wird, um Neon zu bilden, das seinerseits durch einen ähnlichen Prozess in Magnesium umgewandelt wird. Die Bandbreite der möglichen Reaktionen ist riesig. Schließlich verschmelzen Kohlenstoff und Sauerstoff zu Silizium.

> “ ENDLICH KOMME ICH ZU CARBON UND WIE DU ALLE WISSEN, IM FALL VON KOHLENSTOFF Die Reaktion klappt wunderbar.
>
> Hans Bethe, Deutsch-amerikanischer Physiker, 1906–2005

View attachment 7716

Zu diesem Zeitpunkt ist die Temperatur im Kern auf drei Milliarden Grad Celsius angestiegen, was ausreicht, um zwei Siliziumkerne zu Eisen zusammenzupressen. Auf diese Weise sammelt sich im Inneren des Sterns eine Fülle von Elementen in Schalen an, die den Schichten einer Zwiebel ähneln und in deren Kern sich Eisen befindet. Da Eisen jedoch das stabilste aller Elemente ist, kann es nicht mit etwas anderem verschmolzen werden und die Fusion kommt zum Erliegen. Mit der Bildung schwererer Elemente beschleunigt sich der Prozess – es kann Millionen von Jahren dauern, bis ein Stern seinen Wasserstoff verbraucht hat, aber die Verschmelzung von Siliziumkernen zu Eisen dauert nur einen einzigen Tag.

View attachment 7718

NEUE ELEMENTE IN SUPERNOVAS

Elemente, die schwerer als Eisen sind, können nur entstehen, wenn ein massereicher Stern in einer Supernova explodiert. Die nächstschwereren Elemente werden durch den S-Neutroneneinfangprozess gebildet – „s" steht für langsam, da dieser normalerweise Hunderte von Jahren dauert. Dieser Prozess beginnt tatsächlich im Inneren von Sternen, aber in Sternen sind die Wechselwirkungen extrem langsam – sie beschleunigen sich erst, wenn eine Supernova in Gang kommt. Durch die frühere Umwandlung von Kohlenstoff in Sauerstoff und Neon in Magnesium entstand eine Fülle zusätzlicher Neutronen. Die allmähliche Kombination dieser überschüssigen Partikel mit vorhandenen Kernen ermöglicht die Bildung von Elementen, die so schwer sind wie Wismut. Bei diesem Prozess können jedoch keine Elemente entstehen, die schwerer als Wismut sind, da Wismut in Polonium zerfällt, bevor es sich mit einem Neutron verbinden kann. Es ist ein viel schnellerer Neutroneneinfangmechanismus erforderlich – der R-Prozess („r" steht für). schnell). Der R-Prozess kann nur unter den extremen Bedingungen einer Supernova stattfinden. Während der Explosion nimmt die Dichte der Neutronen stark zu und in Sekundenbruchteilen können neue Elemente entstehen. Einige dieser R-Prozess-Kerne zerfallen später und erzeugen neue Elemente, die nicht direkt durch einen der Neutroneneinfangprozesse entstehen.

KOMPLEXE CHEMIE

Diese Fülle an Material wird durch die Kraft der Supernova im weiteren Universum verteilt. Anschließend vermischt es sich mit interstellarem Material und Trümmern anderer toter Sterne Sie bilden riesige Molekülwolken, die schließlich kollabieren und neue Sterne bilden. Einzelne Atome können sich in den Wolken mit anderen zu komplexen Molekülen verbinden, von denen einige für das Leben entscheidend sind. Astronomen und Astrochemiker haben bereits Hinweise auf diese Moleküle gefunden. Die einfachste Aminosäure – Glycin – wurde in einer Gaswolke im Zentrum unserer Milchstraße sowie im nahegelegenen Orionnebel nachgewiesen. Aminosäuren gelten als Bausteine des Lebens, daher ist es möglich, dass die Grundbestandteile des Lebens lange vor Sonnenaufgang entstanden sind.

View attachment 7719

▲ Die Verteilung der Elemente Die Kombination der auf der Erde vorkommenden Elemente unterscheidet sich stark vom Universum insgesamt. Die leichtesten Elemente Wasserstoff und Helium wurden von der jungen Sonne aus der Erdumlaufbahn verdrängt. Sauerstoff, das am häufigsten vorkommende Element der Kruste, entstand, als das Leben durch Photosynthese Kohlendioxid in Zucker umwandelte.

View attachment 7720

◀ Neue Elemente in sterbenden Sternen Wenn eine Quelle an Fusionsmaterial zur Neige geht, zieht die Schwerkraft den Kern des Sterns zusammen und löst eine weitere Fusion aus. Dadurch werden sukzessive konzentrische Schalen aus neuen Elementen aufgebaut. Die Elemente werden immer schwerer, gemessen an ihrer Ordnungszahl (Anzahl der Protonen im Kern), die zwischen 1 und 26 liegt.

View attachment 7721

▲ Die kosmischen Ursprünge des Lebens Die Bausteine des Lebens wurden in der unserem Sonnensystem am nächsten gelegenen Sternentstehungsregion, dem Orionnebel, gefunden. Aminosäuren bilden zusammen Proteine und sind ein Schlüsselbestandteil der DNA.

View attachment 7722

Revision #1
Created 25 September 2025 19:00:17 by investigatione
Updated 25 September 2025 19:00:30 by investigatione