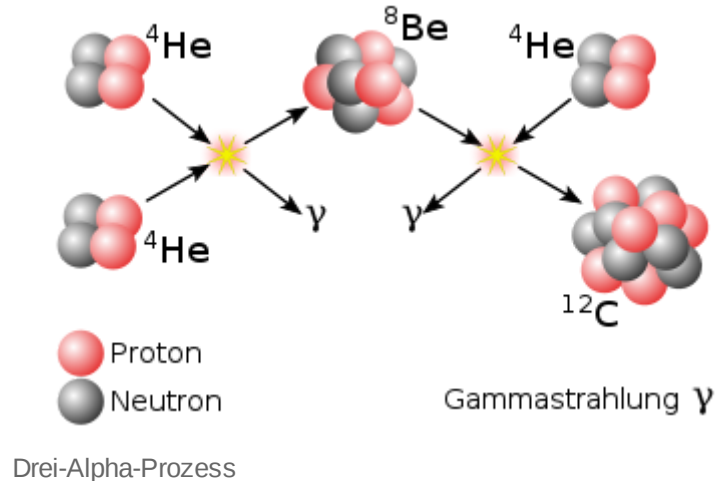


Drei-Alpha-Prozess

Durch den **Drei-Alpha-Prozess** (**3α -Prozess**) werden im Inneren von Sternen drei Helium-Kerne (α -Teilchen) durch Kernfusionsreaktionen in Kohlenstoff umgewandelt und senden dabei Gammastrahlung aus. Dies wird auch als **Heliumbrennen** oder, nach seinem Entdecker Edwin Salpeter, als **Salpeter-Prozess** bezeichnet.



Inhaltsverzeichnis

Voraussetzungen

Ablauf

Folgereaktionen

Siehe auch

Literatur

Weblinks

Einzelnachweise

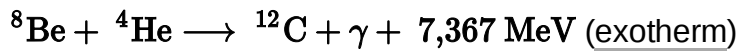
Voraussetzungen

Der Drei-Alpha-Prozess kann nur bei Temperaturen über 100 Millionen Kelvin ablaufen und setzt das reiche Vorhandensein von Helium voraus. Daher tritt er normalerweise nur in den Zentren von Sternen in späten Phasen ihrer Entwicklung auf, in denen ein höherer Druck und höhere Temperaturen als momentan in der Sonne herrschen und bereits ausreichend Helium durch Proton-Proton-Reaktionen oder den Bethe-Weizsäcker-Zyklus (*CNO-Zyklus*) erzeugt wurde. Bei den notwendigen Temperaturen sind alle beteiligten Atomkerne vollständig ionisiert, d. h. ohne Elektronenhülle.

Die Sonne wird erst beim Eintritt in die letzte Phase ihres Lebenszyklus, in etwa 4 Milliarden Jahren, in der Lage sein, das so genannte Heliumbrennen („Verbrennen“ von Helium) zu starten, nachdem in ihrem Kernbereich der ganze Wasserstoff durch das Wasserstoffbrennen zu Helium fusioniert wurde. Der erhöhte Strahlungsdruck während des Heliumbrennens führt zu einem Aufblähen der äußeren Sonnenschichten, die sich nun wegen der größeren Oberfläche abkühlen, woraufhin sich das Strahlungsspektrum der Photosphäre der Sonne zu längeren Wellenlängen verschiebt. Ein Stern in diesem Zustand wird darum als roter Riese bezeichnet.

Ablauf

Im Einzelnen läuft beim 3α -Prozess Folgendes ab:



Der frei werdende Nettoenergiebetrag bei diesem Prozess ist 7,275 MeV. Der Kohlenstoffkern ${}^{12}\text{C}$ kann als Ausgangsstoff beim unter Umständen später einsetzenden Kohlenstoffbrennen dienen.

Die Energiefreisetzungsrate ist beim 3α -Prozess proportional zur 30. Potenz der Temperatur. Mithin bewirkt eine Erhöhung der Temperatur um 5 % eine Steigerung um 332 % bei der Energiefreisetzung.

Der im ersten Schritt erzeugte Berylliumkern ${}^8\text{Be}$ ist instabil (Zwischenkern) und zerfällt mit einer mittleren Lebensdauer von nur $2,6 \cdot 10^{-16} \text{ s}$ wieder in zwei Heliumkerne ${}^4\text{He}$; deshalb ist es für die Erzeugung eines Kohlenstoffkerns notwendig, dass drei α -Teilchen *nahezu gleichzeitig* zusammenstoßen. Dies ist sehr unwahrscheinlich, und deshalb entsteht nur sehr langsam eine merkliche Menge Kohlenstoff.

Durch den Urknall konnte praktisch kein Kohlenstoff produziert werden, weil die Temperatur dabei zu rasch unter diejenige Temperatur abfiel, die für die Fusion benötigt wird. Dieses Problem wird auch als *Beryllium-Barriere* bezeichnet.

Die geringe Wahrscheinlichkeit des 3α -Prozesses wird dadurch gemildert, dass

- der Grundzustand von ${}^8\text{Be}$ fast genau der Energie zweier α -Teilchen entspricht.
- die Energie der beiden Kerne ${}^8\text{Be}$ und ${}^4\text{He}$ zusammen fast genau der Energie eines bestimmten Anregungszustands des ${}^{12}\text{C}$ entspricht.

Beide Teilschritte des Prozesses sind also Resonanzen mit entsprechend erhöhtem Wirkungsquerschnitt.

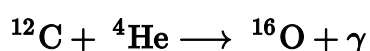
Da durch den 3α -Prozess bereits die Sterne der ersten nach dem Urknall entstandenen Generation in der Lage waren, ${}^{12}\text{C}$ in großen Mengen zu erzeugen, wird dieses Isotop auch als „primäres“ Isotop des Kohlenstoffs bezeichnet.

In der Abhängigkeit der Existenz von Kohlenstoff im Universum von der genauen Energie eines angeregten Niveaus des Kohlenstoffkerns ${}^{12}\text{C}$ und der geringen Wahrscheinlichkeit weiterführender Fusionsprozesse nach der Synthese von Sauerstoff sah Fred Hoyle einen Hinweis auf die Existenz einer schöpfenden Kraft. Diese spezielle Problematik gliedert sich allerdings in den Gesamtkomplex der noch nicht verstandenen, tatsächlichen oder scheinbaren Feinabstimmung der Naturkonstanten ein.^[1]

Folgereaktionen

→ Hauptartikel: Kohlenstoffbrennen

Eine Folgeerscheinung des 3α -Prozesses ist, dass einige der Kohlenstoffkerne ${}^{12}\text{C}$ mit weiteren Heliumkernen ${}^4\text{He}$ fusionieren können, wobei das stabile Isotop ${}^{16}\text{O}$ des Sauerstoffs erzeugt und Energie freigesetzt wird:



Der nächste Umwandlungsschritt, bei dem Sauerstoff ${}^{16}\text{O}$ mit α -Teilchen fusionieren würde, um Neon ${}^{20}\text{Ne}$ zu erzeugen, stellt sich aufgrund von Kernspinregeln als unwahrscheinlich heraus. Demnach produziert die stellare Nukleosynthese große Mengen an Kohlenstoff und Sauerstoff, wird aber von einer Umwandlung dieser Elemente in Neon und schwerere Elemente weitgehend abgehalten.

Sowohl Sauerstoff als auch Kohlenstoff bilden damit die »Asche« des Heliumbrennens; der Kern des Sterns besteht am Ende dieser Fusionsphase im Wesentlichen aus diesen beiden Elementen.

Siehe auch

- Schalenbrennen
- Helium-Blitz

Literatur

- Bogdan Povh u. a.: *Teilchen und Kerne*. 4. Auflage, Springer Verlag 1997, ISBN 3-540-61737-X, S. 318–320
- Edwin Ernest Salpeter: *Astrophys J* **115** (1952), 326

Weblinks

- *Was ist die Beryllium-Barriere?* (<https://www.br.de/mediathek/video/sendungen/alpha-centauri/alpha-centauri-160.html>) aus der Fernseh-Sendereihe *alpha-Centauri* (ca. 15 Minuten). Erstmals ausgestrahlt am 13. Apr. 2005.

Einzelnachweise

1. Fred Hoyle: *The Universe: Past and Present Reflections*. (<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.aa.20.090182.000245>) In: *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics* 20 (1982), S. 1–35.

Abgerufen von „<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Drei-Alpha-Prozess&oldid=206632528>“

Diese Seite wurde zuletzt am 17. Dezember 2020 um 18:02 Uhr bearbeitet.

Der Text ist unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ verfügbar; Informationen zu den Urhebern und zum Lizenzstatus eingebundener Mediendateien (etwa Bilder oder Videos) können im Regelfall durch Anklicken dieser abgerufen werden. Möglicherweise unterliegen die Inhalte jeweils zusätzlichen Bedingungen. Durch die Nutzung dieser Website erklären Sie sich mit den Nutzungsbedingungen und der Datenschutzrichtlinie einverstanden. Wikipedia® ist eine eingetragene Marke der Wikimedia Foundation Inc.