

3.8 Exkurs: Eine kurze Geschichte der Materie

Entstehung von Atomen

Beim Urknall vor 13.7 Milliarden Jahren, so die Vorstellung von der Entstehung des Universums, bildeten sich aus den Quarks (Abschnitt 3.3) nach 10^{-5} Sekunden, bei einer Temperatur von etwa zwei Billionen Grad Celsius, die ersten Bausteine für sämtliche Atome: die Protonen und die Neutronen. Nach 10^{-4} Sekunden und bei einer Billion Grad Celsius vernichteten sich Materie und Antimaterie (negative Protonen und positive Elektronen = Positronen) gegenseitig. Aus dem geringen Überschuss an Materie ist unser heutiges Universum aufgebaut. Etwa 0.2 Sekunden nach dem Urknall trat die schwache Kernkraft auf, die einen Teil der Neutronen, die im Gegensatz zu den Protonen als isolierte Teilchen nicht stabil sind, in Protonen und Elektronen verwandelte. Letztere zerstrahlten zum Teil mit den Positronen zu Photonen (Lichtteilchen). Die verbleibenden Elektronen bilden die Elektronenhüllen der heute existierenden Atome. Nach zwei Minuten vereinigten sich Protonen und Neutronen zu Heliumkernen (Atomkerne, vgl. Abschnitt 4.1), wodurch die Neutronen vor dem Zerfall geschützt waren. Etwa 380 000 Jahre später bildeten sich die ersten Atome, 75 Prozent davon Wasserstoff-, der Rest Helium-Atome. In den Atomen gebunden, streuten die Elektronen das Licht nicht mehr, sodass es sich nun ungehindert ausbreitete, das Universum wurde «durchsichtig». 14 Millionen Jahre später hatte sich das All so weit abgekühlt, dass das Licht immer schwächer und der Kosmos dadurch schwarz wurde.¹

Bildung von Sternen, Galaxien und Elementen

Man stellt sich die Entstehung der Sterne folgendermassen vor: Wenn die Wasserstoff-Atome aufgrund der Gravitationskraft immer näher zusammenrücken, lösen sich die Elektronen von ihren Atomen, und es bildet sich ein Plasma. Steigt der Druck weiter an, kommt es schliesslich zur Verschmelzung von Atomkernen (Kernfusion). So bilden sich aus den Kernen von Wasserstoff-Atomen, dem Hauptbestandteil der Sterne und damit auch unserer Sonne, schwerere Elemente wie Helium ($2p^+$), Sauerstoff ($8p^+$) bis hin zu Eisen ($26p^+$). Jede Sekunde fusionieren (verschmelzen) in der Sonne rund sechshundert Millionen Tonnen Wasserstoff zu schwereren Atomen. Dabei werden etwa vier Millionen Tonnen an Materie (rund 0.66 % der Ausgangsmasse; Massendefekt) direkt in Energie (Fusionsenergie) umgewandelt. Diese wirkt der Gravitationskraft entgegen² und erhält als «Sonnenstrahlung» das Leben auf dem Planeten Erde aufrecht (Fotosynthese).

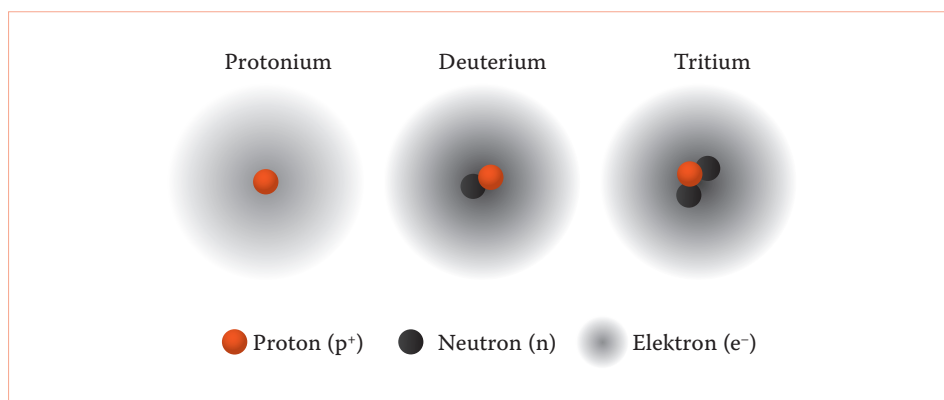
1 Geo kompakt, Nr. 29: Der Urknall ... und wie die Welt entstand.

2 Moore, B.: Elefanten im All. Kein & Aber. Zürich. 2012. S. 136.

Die Bildung von Helium aus Wasserstoff-Isotopen

Abb. 3.13

Die isotonen Nuklide (Isotope) des Elements Wasserstoff: ^1H (Protonium), ^2H (Deuterium) und ^3H (Tritium)



Bei der Fusion der beiden isotonen Nuklide ^2_1H und ^3_1H zu ^4_2He wird viel Energie freigesetzt:



Freigesetzte Fusionsenergie bei der Bildung eines ^4_2He -Nuklids:

$$\Delta E = 2.81814721 \cdot 10^{-15} \text{ kJ}$$

Freigesetzte Fusionsenergie für ein Mol ($6.02 \cdot 10^{23}$) ^4_2He -Nuklide:

$$\Delta E = 1\,696\,524\,000 \text{ kJ/mol} = 1.7 \cdot 10^9 \text{ kJ/mol}^3$$

Bildung der Galaxien

Durch die Gravitation ordnen sich die neu entstehenden Sterne zu einzelnen Haufen, die man Galaxien nennt (Abschnitt 3.1).

Abb. 3.14

Adam Elsheimer (1578–1610): Die Flucht nach Ägypten. 1609. Rechts Detail der Milchstrasse (Galaxie). Erste «korrekte» Darstellung der Milchstrasse als Ansammlung unzähliger Sterne



Schwerere Elemente entstehen

Sterne leben nicht ewig. Da eine weitere Fusion über die Eisenkerne hinaus keine Energie mehr liefert, gewinnt die Gravitationskraft die Oberhand über die Fusionsenergie, und innerhalb kurzer Zeit fällt der Stern zusammen. Er explodiert wegen der dabei frei werdenden Energie. In einer gigantischen Supernova⁴ entstehen Kerne mit noch grösserer Protonenzahl als Eisen – und Materie wird weit in den Raum hinausgeschleudert.

Planeten bilden sich

Dieser «Abfall», Staub Tausender ehemaliger Sterne, eignet sich nicht als Brennstoff für neue Sonnen. Er ballt sich zu immer grösseren Körpern zusammen, die aufgrund der Gravitationskraft flüssig sind, sich an der Oberfläche aber langsam abkühlen und damit zu Planeten werden. So entstand vor etwa 4.5 Milliarden Jahren unsere Erde.

4 Supernova: kurzes, helles Aufleuchten, verursacht durch eine Explosion am Ende der Lebenszeit eines Sterns.

Zentrale Begriffe zum Exkurs 3.8

- | | | |
|---------------|------------------|-------------|
| › Urknall | › Kernfusion | › Protonium |
| › Antimaterie | › Stern | › Deuterium |
| › Positron | › Fusionsenergie | › Tritium |
| › Galaxie | › Massendefekt | › Supernova |
| › Photon | › Fotosynthese | › Planet |