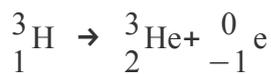


Gesetz des radioaktiven Zerfalls

Halbwertszeit

Bei einem einzelnen radioaktiven Atomkern kann man nicht vorhersagen, zu welchem Zeitpunkt er zerfallen wird. Er kann in der nächsten Sekunde oder erst in Tausenden von Jahren zerfallen. Bei einer großen Anzahl von Atomen lässt sich aber eine Wahrscheinlichkeitsaussage über den Ablauf des Zerfalls machen. Es zerfallen zum Beispiel von einer Menge Wasserstoff-3 (Tritium) in ca. 12,3 Jahren die Hälfte der Atome, nach weiteren 12,3 Jahren ist von dem Rest wiederum die Hälfte zerfallen usw.

Kernreaktionsgleichung:

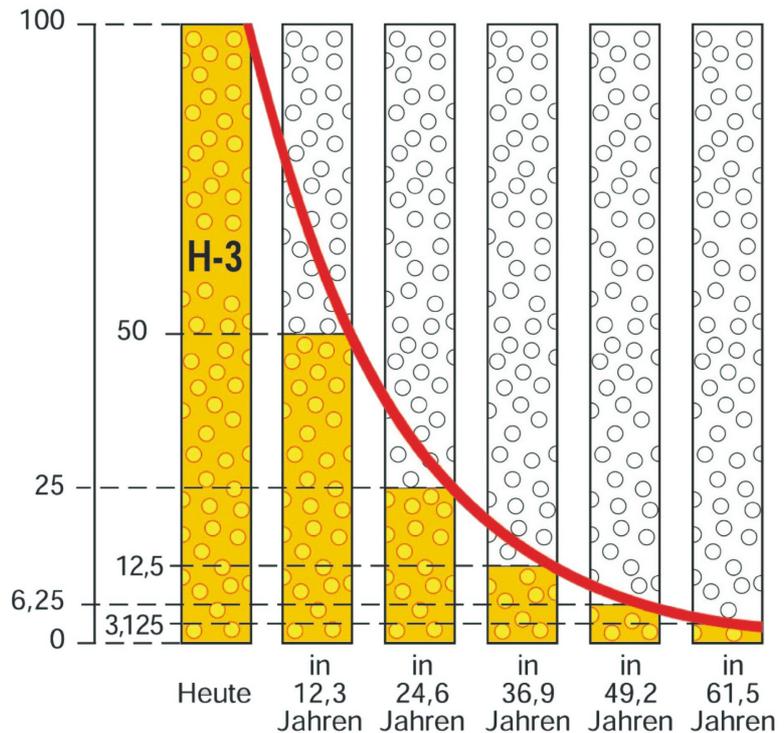


Die Zeit, nach der die Hälfte einer bestimmten Anzahl von Atomkernen zerfallen ist, wird Halbwertszeit $T_{1/2}$ genannt. Sie ist für jedes Radionuklid eine charakteristische Größe.

Die Halbwertszeiten liegen zwischen vielen Milliarden Jahren und Sekundenbruchteilen. Eine sehr große Halbwertszeit besitzt beispielsweise Tellur-128 mit $7,7 \cdot 10^{24}$ Jahren, während für Radium-216m eine sehr kurze Halbwertszeit von nur $7 \cdot 10^{-9}$ s ermittelt wurde.

Bei einer angenommenen Anzahl von 12000000 radioaktiven Atomkernen kann man sich den Ablauf des Zerfalls anhand einer Abbildung (nächste Seite) deutlich machen. Als Radionuklid ist auch hier wieder Wasserstoff-3 (Tritium) gewählt worden. Es zerfällt mit einer Halbwertszeit von etwa 12,3 a unter Aussenden eines Betateilchens zu dem nicht mehr radioaktiven Heliumisotop He-3.

Anzahl der radioaktiven Atome in %



nicht radioaktiv



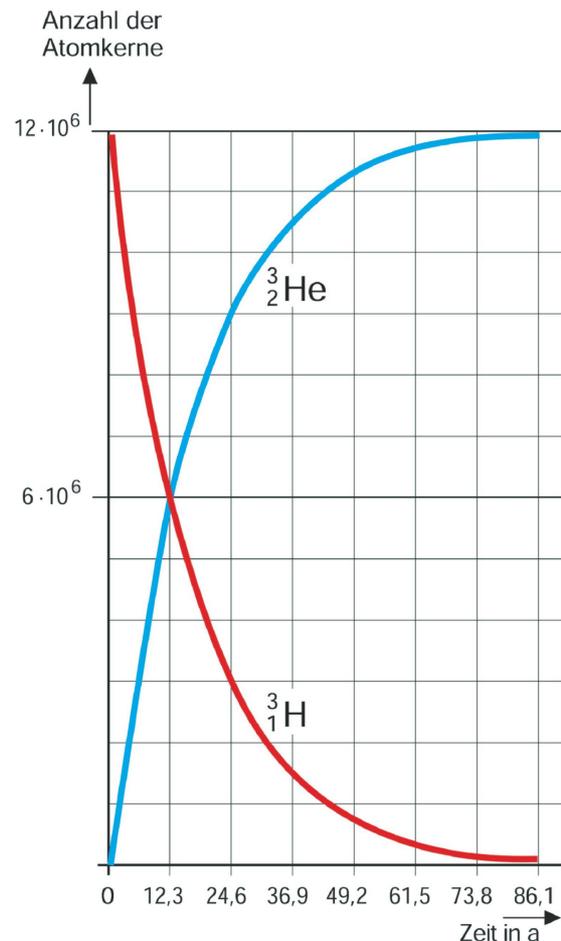
radioaktiv

Es lässt sich Folgendes erkennen:

- In jeder Halbwertzeit wandelt sich stets die Hälfte der jeweils zu Beginn noch vorhandenen radioaktiven Atomkerne um.
- Die Anzahl der radioaktiven Kerne nimmt erst schnell, dann immer langsamer ab. Die Anzahl der nicht mehr radioaktiven Kerne nimmt erst schnell, dann immer langsamer zu.
- Nach vier Halbwertzeiten ist das Radionuklid zu mehr als 90 % zerfallen, nach zehn Halbwertzeiten zu mehr als 99,9 %.

Wird die Anzahl der zu Beginn eines Zerfalls vorhandenen radioaktiven Kerne mit N_0 , die am Ende der Abklingzeit t noch vorhandenen Kerne mit N_t und die Halbwertzeit mit $T_{1/2}$ bezeichnet, so ergibt sich die Anzahl dann noch radioaktiver Kerne nach der Gleichung:

$$N_t = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$



Rechenbeispiel: Wie viele radioaktive Kerne des Wasserstoff-3 sind nach 98,4 Jahren (acht Halbwertzeiten) noch vorhanden, wenn es am Anfang 12000000 waren?

$$N_t = 12 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{98,4}{12,3}} = 46875$$

Aktivität

Die Zeit, in der die Hälfte einer großen Anzahl von radioaktiven Atomkernen sich umwandelt, wird Halbwertzeit genannt. Sie hat für jedes Radionuklid einen charakteristischen Wert. Für den Umgang mit radioaktiven Substanzen ist es aber oftmals wichtiger zu wissen, wie viele radioaktive Atomkerne sich in einer bestimmten Zeit umwandeln (z. B. in 1 Sekunde). Beim Vergleich mehrerer Substanzen weiß man dann, welche Substanz stärker aktiv ist, d. h. in welcher Substanz mehr Kernumwandlungen pro Zeiteinheit stattfinden. Zur Beschreibung dieses Sachverhaltes hat man die Aktivität oder Zerfallsrate festgelegt. Sie gibt die Anzahl der Kernumwandlungen pro Zeiteinheit an:

$$\text{Aktivität} = \frac{\text{Anzahl der Kernumwandlungen}}{\text{Zeit}} \quad \text{oder kurz} \quad A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

Die Anzahl der Kernumwandlungen wird als Zahlenwert ohne Einheit angegeben. Für die Zeit wird als Einheit die Sekunde gewählt. Die Einheit der Aktivität ist also $1/s = s^{-1}$. Als besonderer Einheitenname für die Aktivität wurde das Becquerel (Bq) eingeführt: $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$.

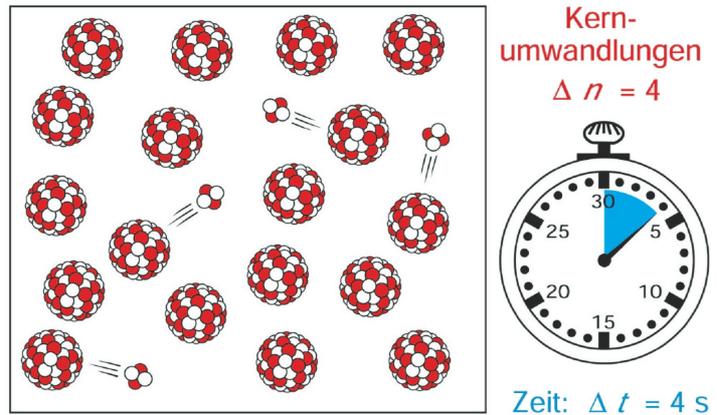
Die Zahlenangabe in Becquerel gibt also die Anzahl der Kernumwandlungen pro Sekunde an. In der Abbildung wird davon ausgegangen, dass in einer bestimmten Menge radioaktiver Atome (nur die Atomkerne sind in der Abbildung dargestellt) in vier Sekunden vier Kernumwandlungen stattfinden.

Die Aktivität A beträgt dann:

$$A = \frac{4}{4\text{s}} = 1\text{ Bq}$$

Bei zehn Kernumwandlungen pro Sekunde ergibt sich eine Aktivität von 10 Bq, bei 1000 Kernumwandlungen pro Sekunde eine Aktivität von 1000 Bq = 1 kBq.

Viele Radionuklide bilden nach ihrer Umwandlung Tochterkerne, die wiederum radioaktiv sind. So wandelt sich z.B. Ra-226 in das radioaktive Edelgas Rn-222 um. Aktivitätsangaben für ein Radionuklid beziehen sich aber immer auf die Ausgangssubstanz, nicht auf die angesammelten Folgeprodukte.



$$\text{Aktivität} = \frac{\text{Anzahl der Kernumwandlungen}}{\text{Zeit}}$$

$$A = \frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{4}{4\text{ s}} = 1 \cdot \text{s}^{-1} = 1\text{ Bq}$$