

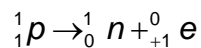
# Aanvulling theorie radioactiviteit

## Bèta-plus-verval en elektronenvangst (K-vangst)

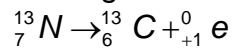
De meest voorkomende vormen van radioactief verval zijn alfa- en bètaverval, eventueel gevolgd door gammaverval. Vaak wordt bètaverval aangeduid met bèta-min-verval. Dit wordt gedaan om onderscheid te maken met het veel minder vaak voorkomende bèta-plus-verval.

Bij bèta-plus-verval verandert een proton in de kern in een neutron en een zogenaamd 'positron'. Het neutron blijft in de kern achter terwijl het positron met een enorme snelheid uit de kern wordt weggeschoten. Je kunt een positron omschrijven als een positief elektron. Een positron heeft namelijk dezelfde massa als een elektron maar is positief in plaats van negatief geladen.

Een positron wordt aangegeven met  ${}^0_{+1}e$ . De nul (linksboven) geeft aan dat de massa verwaarloosbaar is in vergelijking met die van een proton of een neutron (net als bij een elektron). De +1 (linksonder) geeft aan dat de lading positief is en absoluut gezien even groot als die van een elektron. De omzetting van een proton in een neutron en een positron kan dan als volgt weergegeven worden.

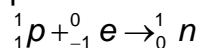


De volgende vervalvergelijking is een voorbeeld van bèta-plus-verval.

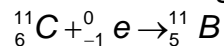


Merk op dat het massagetal van de kern gelijk blijft (hier 13) en het atoomnummer met 1 daalt.

Naast bèta-plus-verval kan een atoomkern ook veranderen door een elektron, dat rond de atoomkern draait, in te vangen. We spreken dan van elektronenvangst of K-vangst. De term K-vangst is afkomstig van het feit dat het elektron meestal uit de K-schil van het atoom komt. Het ingevangen elektron wordt in combinatie met een proton een neutron. Dit kan als volgt weergegeven worden.



Elektronenvangst kan bijvoorbeeld bij koolstof-11 optreden. De reactievergelijking is:



Bij elektronenvangst blijft, net als bij bèta-plus-verval, het massagetal gelijk (in het voorbeeld 11) terwijl het atoomnummer met 1 daalt.

### Opmerking

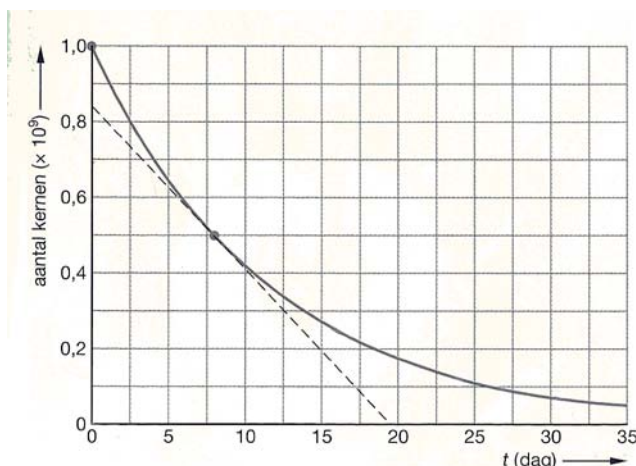
In tabel 25 van Binas staat per isotoop aangegeven welke vorm van verval optreedt.

## Verband tussen het aantal instabiele kernen (N) en de activiteit (A)

De activiteit van een radioactieve bron is het aantal atoomkernen in deze bron dat per seconde vervalt. Als N het aantal (nog te vervallen) atoomkernen is en A de activiteit, geldt:

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

Als in een diagram N tegen t uitstaat, kan de activiteit op elk gewenst tijdstip gevonden worden door op dat tijdstip de (absolute waarde van de) steilheid van de raaklijn te bepalen. Zie bijvoorbeeld het diagram hiernaast. Op  $t = 8,0$  dag geldt:



$$A = -\frac{dN}{dt} = -\frac{0 - 0,84 \cdot 10^9}{19,5 \cdot 24 \cdot 3600} = 5,0 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

Deze waarde had trouwens ook op een andere manier gevonden kunnen worden. De halveringstijd is namelijk 8,0 dag (ga dat na!). Dan geldt:

$$A = \frac{\ln(2) \cdot N}{t_{1/2}} = \frac{\ln(2) \cdot 0,50 \cdot 10^9}{8,0 \cdot 24 \cdot 3600} = 5,0 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

## Het berekenen van de tijd bij radioactief verval

Als je met de formule  $A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$  of  $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$  de tijd  $t$  wilt uitrekenen, moet je de logaritme van het linker en rechter lid nemen. Zie het volgende voorbeeld.

Een radioactieve stof met een halveringstijd van 3,5 jaar heeft op een bepaald moment een activiteit van 100 kBq. Bereken na hoeveel tijd de activiteit gedaald is tot 42 kBq.

Oplossing

$$A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \text{ wordt } \frac{42}{100} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{3,5 \text{ j}}}$$

$$\text{Hieruit volgt: } \log(0,42) = \frac{t}{3,5 \text{ j}} \cdot \log\left(\frac{1}{2}\right)$$

Hieruit volgt  $t = 4,4$  jaar.

## Elektronvolt

We kennen reeds een aantal eenheden van energie, zoals de joule, kilowattuur en calorie. In de kernfysica wordt echter vaak gebruik gemaakt van de elektronvolt (afgekort eV) en de mega-elektronvolt (afgekort MeV). Deze laatste is gelijk aan miljoen elektronvolt. Een elektronvolt is als volgt gedefinieerd.

Eén elektronvolt is de energieverandering van een elektron als deze een spanning van 1 volt doorloopt.

Omdat de lading van een elektron gelijk is aan  $1,602 \cdot 10^{-19}$  C, geldt het volgende.

1 elektronvolt =  $1,602 \cdot 10^{-19}$  joule (afgekort 1 eV =  $1,602 \cdot 10^{-19}$  J).

1 mega-elektronvolt =  $1,602 \cdot 10^{-13}$  joule (afgekort 1 MeV =  $1,602 \cdot 10^{-13}$  J).

Het getal  $1,602 \cdot 10^{-19}$  vind je in Binas tabel 7 bij het elementair ladingsquantum.

Als een atoomkern vervalst, zendt hij een alfadeeltje of bètadeeltje uit en daarna mogelijk ook nog een gammafoton. De energie hiervan wordt in MeV uitgedrukt. In tabel 25 van Binas staat per isotoop vermeld hoeveel energie het uitgezonden alfa- of bètadeeltje heeft. Bij bètadeeltjes, die niet mono-energetisch zijn, betreft het de maximum energie.

## Atomaire massa-eenheid

In de kernfysica wordt vaak gebruik gemaakt van de 'atomaire massa-eenheid'. Deze is als volgt gedefinieerd.

De atomaire massa-eenheid is gelijk aan een twaalfde van de massa van een koolstof-12 atoom.

De atomaire massa-eenheid wordt meestal aangeduid met u. De massa van een koolstof-12 atoom is per definitie gelijk aan 12 u. Ruwweg is één u gelijk aan de massa van een proton of een neutron. Zoals in Binas tabel 7 vermeld staat, geldt:  $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27}$  kg.

In tabel 25 van Binas staan per isotoop de atoommassa's vermeld.

## Rekenvoorbeeld

In ionisatierookmelders zit een klein radioactief bronnetje. Dit bronnetje bevat de isotoop americium-241. De activiteit hiervan bedraagt 37 kBq.

- Bereken hoeveel vermogen de bron levert.
- Bereken de massa (in kg) van het americium-241.

Oplossing

a.

$E_{\text{alfa}} = 5,6 \text{ MeV}$  (zie Binas tabel 25)

$P = A \cdot E_{\text{alfa}} = 37 \text{ kBq} \cdot 5,6 \text{ MeV} \cdot 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J/MeV} = 0,033 \cdot W$ .

b.

Uit  $A = \frac{\ln(2) \cdot N}{t_{1/2}}$  volgt  $N = \frac{A \cdot t_{1/2}}{\ln(2)}$

De halveringstijd van americium-241 bedraagt 432 jaar (zie Binas tabel 25).

$$N = \frac{A \cdot t_{\frac{1}{2}}}{\ln(2)} = \frac{37 \cdot 10^3 \cdot 432 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{\ln(2)} = 7,27 \cdot 10^{14}$$

De massa van een atoom van americium-241 is 241,05682 u (zie Binas tabel 25).

Uiteraard ligt deze waarde vlakbij 241 u.

Voor de massa van het americium-241 geldt dan:

$$m = N \cdot m_{\text{atoom}} = 7,27 \cdot 10^{14} \cdot 241 \text{ u} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg/u} = 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ kg.}$$