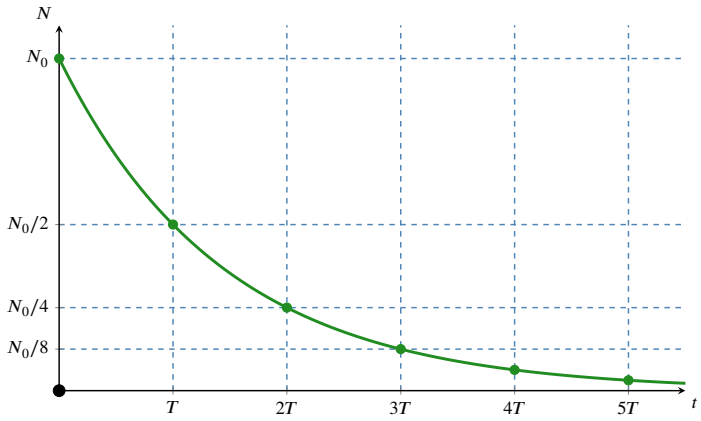
De vervalwet

Radioactief verval is een spontaan, maar toevallig proces. Je kunt dus niet voorspellen wanneer één bepaalde kern zal vervallen. Toch geldt ook voor radioactief verval een wetmatigheid. Het gebeurt dus niet willekeurig. Veronderstel dat op het ogenblik t een hoeveelheid materie N niet-stabiele kernen bevat. Vermits deze kernen vervallen, zal N afnemen met de tijd. Experimenteel vind je het volgende verloop:



Figuur 1 – Het radioactief verval van een bron: het aantal nog niet vervallen kernen verloopt volgens een dalende exponentiële functie.

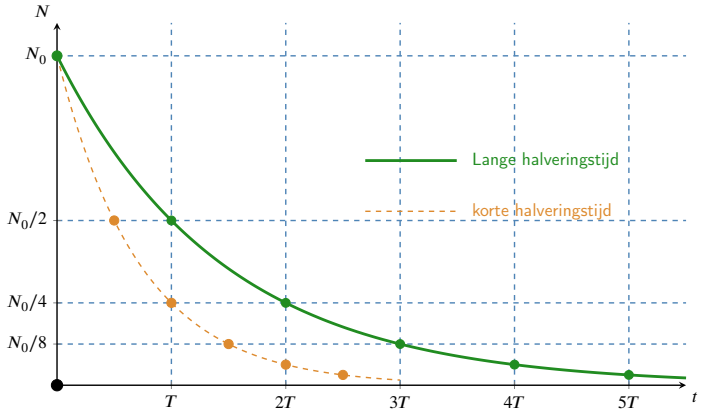
Wat opvalt, is het bestaan van een halveringstijd T: telkens de tijd met T toeneemt, is het aantal kernen gehalveerd.

Definitie 1. De halveringstijd T is het tijdsverloop waarin de helft van het aantal kernen vervalt.

De halveringstijd verschilt van nuclide tot nuclide.

Voorbeeld 1.

- voor $\mathrm{B}-12$ is T gelijk aan $0,020$ s.
- voor $\mathrm{K}-40$ is T gelijk aan $1,3 \cdot 10^9$ jaar



Figuur 2 – Hoe korter de halveringstijd hoe sterker de exponentiële functie daalt.

Hoe minder stabiel een nuclide, hoe sneller die vervalt en hoe korter de halveringstijd.

CC BY-NC-SA 4.0

De vervalwet

Zo'n nuclide is dus "kortlevend", maar omdat het verval gebeurt in een korte tijd en bij ieder verval een α- of β^- -deeltje vrijkomt, is een hoeveelheid stof opgebouwd uit zulke nucliden wel erg radioactief! Nucliden met een lange levensduur vervallen traag en zijn dus minder radioactief. Sommige van die nucliden, zoals $\mathrm{Pu}-241$, zijn wel erg giftig! Een lange levensduur is in dat geval geen voordeel!

Eigenschap 1 (Vervalwet)**.** De functie $N(t) = N_0 \cdot 2^{\frac{-t}{T}}$ beschrijft het radioactief verval.

De tijd t neemt dezelfde eenheid aan van de halveringstijd T, die je afleest uit een tabel.

Omdat $2 = e^{\ln 2} = e^{0{,}693}$, kan je de vervalwet ook schrijven als

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-0{,}693\frac{t}{T}}.$$

De verhouding $\dfrac{0{,}693}{T}$ noemt men de **desintegratieconstante** λ:

$$\lambda = \frac{0{,}693}{T}$$

en dus

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}.$$

Hoe groter de desintegratieconstante λ, hoe sneller de stof vervalt.

Oefening 1 (Verval van $\mathrm{I}-131$)**.** Het $\mathrm{I}-131$ isotoop dat een halfwaardetijd heeft van 8 dagen wordt gebruikt bij nucleaire geneeskunde. In een kernreactor wordt bijvoorbeeld een sample $\mathrm{I}-131$ gemaakt met $3{,}0 \cdot 10^{12}$ atomen.

1. Als dit sample 36 uur later wordt afgeleverd in een ziekenhuis, hoeveel atomen $\mathrm{I}-131$ kan je dan nog in het sample aantreffen?

Uitwerking: We gebruiken de vervalfunctie

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{\frac{-t}{T}} \text{ met } N_0 = \text{ het aantal kernen in het begin } = 3{,}0 \cdot 10^{12}$$

$$T = \text{ de halveringstijd } = 8 \text{ dagen } = 192 \text{ uren}$$

Na 36 uren geldt dat

$$N(36\text{ u}) = 3{,}0 \cdot 10^{12} \cdot 2^{\frac{-36\text{u}}{192\text{u}}} = 2{,}6 \cdot 10^{12}.$$

2. Dit sample neemt voortdurend af in sterkte, maar het blijft bruikbaar zolang het aantal $\mathrm{I}-131$ atomen boven de $5{,}0 \cdot 10^{11}$ blijft. Na hoeveel dagen wordt het sample onbruikbaar?

Uitwerking: De tijd die nodig is om het aantal atomen te herleiden tot $5{,}0 \cdot 10^{11}$ vinden we dan via

$$5{,}0 \cdot 10^{11} = 3{,}0 \cdot 10^{12} \cdot 2^{\frac{-t}{192\text{u}}}.$$

Omrekenen naar t levert dat

$$0{,}17 = 2^{\frac{-t}{192\text{u}}} \quad \Rightarrow \quad \ln(0{,}17) = -\frac{t}{192u} \cdot \ln(2)$$
$$\Rightarrow t = 491 \text{ uren} \approx 20 \text{ dagen}$$

Besluit: Na ongeveer 20 dagen wordt het sample onbruikbaar.

CC BY-NC-SA 4.0

Opmerking 1. In bovenstaande oefening staat u voor de eenheid uur en niet voor unit.

CC BY-NC-SA 4.0