

# OuNa 15 De ouderdom van de aarde

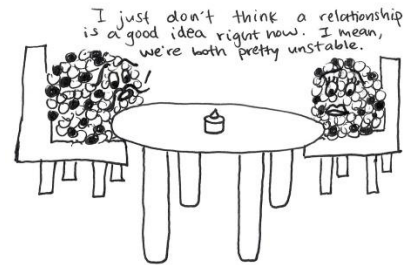
Ruud Brouwer, Don Bosco College te Volendam

In het CE-domein B2 'Medische Beeldvorming' worden gelukkig de halveringstijden van alfa- en bètastralers nog genoemd. Daardoor kunnen we in de klas met behulp van het ISP (Ioniserend Stralings Practicum) uit Utrecht proeven bij dit onderwerp doen.

In de boeken en de lessen wordt de koolstof-14 datering ongetwijfeld behandeld om bijvoorbeeld uit te leggen hoe men weet hoe oud de lijkwade uit Turijn werkelijk is. Maar het dateren van stenen lukt natuurlijk niet met  $^{14}\text{C}$ . Daarom in deze OuNa ook aandacht voor de Rb-Sr dateringsmethode. Deze werkt wel tot het begin der aardse tijden en kan wellicht in het keuzeonderwerp E2 Aarde en klimaat in de les aan bod komen.

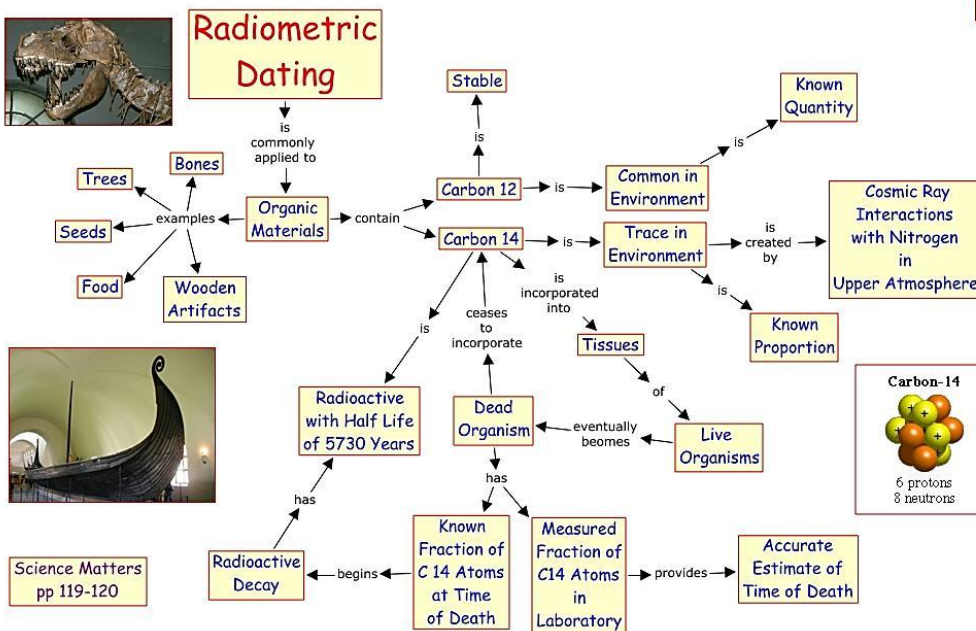
## RADIOACTIVE DATING

is complicated!

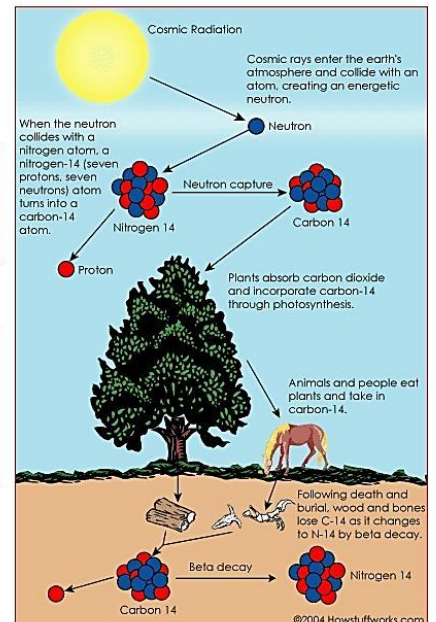


### Dia bij de uitleg

Bij de uitleg over  $^{14}\text{C}$  datering projecteer ik deze dia:



<http://static.howstuffworks.com/gif/carbon-14.gif>



Radiometric dating is also applied to rocks and meteorites by measuring the content of minute quantities of mother and daughter radioisotopes

De tekst + uitleg bij de dia kunt u zelf wel verzinnen. Maar ook voor het samenstellen van een proefwerk-opgave is deze dia zeer geschikt: gum een stukje tekst, deeltje of isotoop weg en laat de leerling het aanvullen.

### De halfwaardetijd van lang levende isotopen

Hoe meet men de ouderdom van stenen en mineralen die zijn ontstaan bij de vorming van de aarde? Voordat je met dit onderwerp begint, moet eerst duidelijk worden hoe je de halfwaardetijd bepaalt van zeer langlevende isotopen.

De activiteit van bijvoorbeeld  $^{87}\text{Rb}$  (vervalt met een  $t_{1/2}$  van  $4,8 \cdot 10^{10}$  j naar  $^{87}\text{Sr}$ ) zal gedurende een mensenleven niet meetbaar veranderen. De  $A(t)$ -grafiek zal dus horizontaal lopen en dan kun je  $t_{1/2}$  niet aflezen.

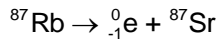
De enige manier die ik kan bedenken, werkt met de

formule:  $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$ . Meet de activiteit van een bekende

hoeveelheid zuiver  $^{87}\text{Rb}$  en je kunt  $t_{1/2}$  uitrekenen.

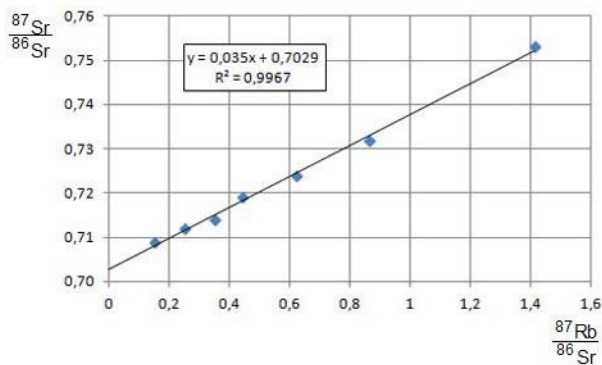
## De Rb-Sr dateringsmethode

De Rb-Sr dateringsmethode is gebruikt om de leeftijd van stenen uit *Rainy Lake* (Ontario, Canada) te bepalen. Er komen op aarde vier stabiele strontiumisotopen voor die heel lang geleden in sterren zijn ontstaan:  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$  en  $^{88}\text{Sr}$ . Van de vier stabiele strontiumisotopen is op aarde alleen  $^{87}\text{Sr}$  óók ontstaan uit spontaan radioactief verval:



Daarom kan  $^{87}\text{Rb}$  in combinatie met  $^{87}\text{Sr}$  gebruikt worden bij geologische ouderdomsbepalingen.

In het lab worden van verschillende stukjes van de gevonden steen de verhouding  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en de verhouding  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  bepaald. Vervolgens worden de verhoudingen tegen elkaar uitgezet in een diagram. Door de meetpunten is een lineaire trendlijn te trekken die goed past ( $R^2 \approx 1$ ) met helling 0,035.

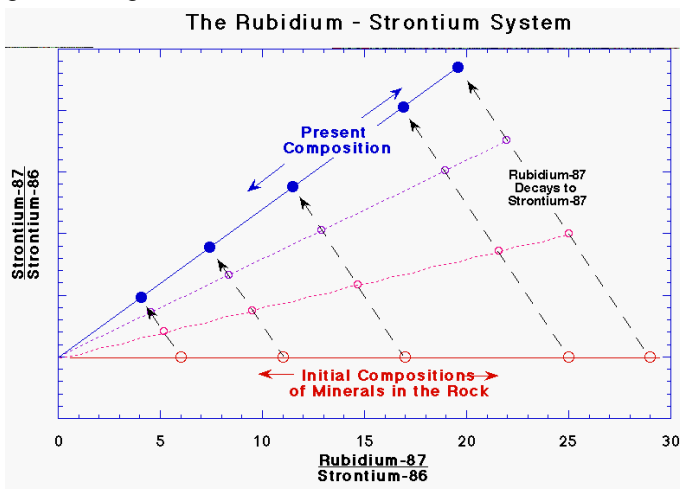


Met de helling kun je de ouderdom van de steen bepalen. Zie het kader hiernaast en deze applet:

### Verouderen van een steen in beeld

Hoe steiler de lijn, hoe ouder de steen. Immers, een paar miljoen jaar later is er nog meer  $^{87}\text{Sr}$  gevormd (de verhouding  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  op de y-as neemt toe) en nog minder  $^{87}\text{Rb}$  in de steen achtergebleven (de verhouding  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  op de x-as neemt af).

Bij het stollen van de steen – heel erg lang geleden – liep de lijn horizontaal ( $y = 0,70$ ), want toen was er nog geen  $^{87}\text{Sr}$  gevormd.



Voor de helling van de lijn is te schrijven:

$$\text{helling} = e^{t \ln 2 / t_{1/2}} - 1$$

De afleiding van deze formule staat in het kader.

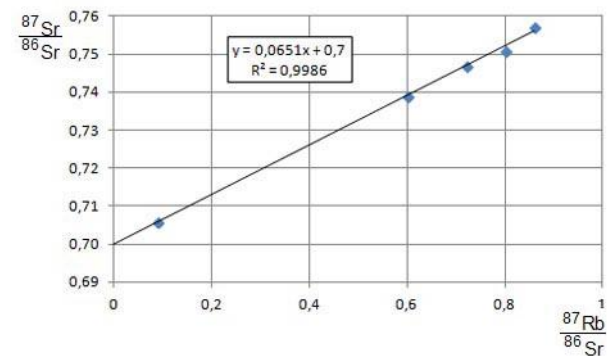
Vul in  $t_{1/2} = 4,8 \cdot 10^{10}$  j en voor de helling 0,035 en de leeftijd van de steen is te berekenen:  $t = 2,4$  miljard jaar. Volgens tabel 94<sup>A</sup> van *Binas* komt deze steen dus uit het Precambrium.

## Meteorieten

Volgens N. A. Jelley (in *Fundamentals of Nuclear Physics*, Cambridge University Press, 1990) zijn deze Rb-Sr verhoudingen gevonden in vijf chondriet meteorieten:

Meteoriet	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Modoc	0,86	0,757
Homestead	0,80	0,751
Bruderheim	0,72	0,747
Kyushu	0,60	0,739
Buth Furnace	0,09	0,706

Met Excel krijgen we dan deze grafiek:



De as-afsnijding is weer 0,70. Uit de helling 0,0651 berekenen we een leeftijd van  $4,4 \cdot 10^9$  j.

### De afleiding van helling = $e^{t \ln 2 / t_{1/2}} - 1$

Voor het tempo waarin  $^{87}\text{Rb}$  vervalt tot  $^{87}\text{Sr}$ , geldt:

$$^{87}\text{Rb} = ^{87}\text{Rb}_0 \cdot e^{-\lambda t} \text{ met } \lambda = \ln 2 / t_{1/2} \Rightarrow ^{87}\text{Rb}_0 = ^{87}\text{Rb} \cdot e^{\lambda t}$$

Het totaal aantal moeder- plus dochterkernen is op ieder tijdstip constant:

$$^{87}\text{Rb} + ^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Rb}_0 + ^{87}\text{Sr}_0 \Rightarrow$$

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Rb}_0 - ^{87}\text{Rb} + ^{87}\text{Sr}_0 \Rightarrow$$

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Rb} \cdot e^{\lambda t} - ^{87}\text{Rb} + ^{87}\text{Sr}_0 = ^{87}\text{Rb} \cdot (e^{\lambda t} - 1) + ^{87}\text{Sr}_0$$

Deel nu links en rechts door  $^{86}\text{Sr}$  en bedenk dat  $^{86}\text{Sr} = ^{86}\text{Sr}_0$  omdat  $^{86}\text{Sr}$  stabiel is en ook niet wordt gevormd bij een vervalreactie.

$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} = \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} \cdot (e^{\lambda t} - 1) + \frac{^{87}\text{Sr}_0}{^{86}\text{Sr}_0}$$

Als  $\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$  op de y-as staat en  $\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$  op de x-as dan is

$$e^{\lambda t} - 1 \text{ de helling van de lijn } \Rightarrow$$

$$\text{helling} = e^{\lambda t} - 1 = e^{t \ln 2 / t_{1/2}} - 1$$