

Måling af minigeneratorens aktivitet

- En lidt anden måde at bruge minigeneratoren på...

Minigeneratoren indeholder en mængde af den radioaktive isotop Cs-137, der ved betaminus-henfald danner bl.a. den exciterede kerne Ba-137*. Denne kerne henfalder ved et gamma-henfald til Ba-137 i grundtilstanden.

Halveringstiden for Cs-137 er ca. 30 år, og aktiviteten fra denne kilde til dannelse af Ba-137* kan derfor betragtes som konstant i det korte tidsrum (max 10 min), målingerne på aktiviteten af Ba-137* foregår.

Processen er



hvor en neutron i Cs-137 kernen henfalder til en proton, en elektron ${}_{-1}^0e$ og en (anti-)elektronneutrino $\bar{\nu}_e$.

Der er også beta-minus henfald, hvor den nydannede barium-kerne er i grundtilstanden, men det er ikke relevant her.

Henfaldet af Ba137* er beskrevet ved reaktionsskemaet



hvor fotonen (γ) kan registreres med et GM-rør.

Efter et stykke tid (nogle få halveringstider for Ba137*) vil der være ligevægt mellem nydannede Ba-137* kerner og antal henfaldne kerner Ba-137.

Henfaldsloven for Ba-137* fortæller os, at

$$A = k \cdot N \quad \text{henfaldsloven}$$

Her er N antallet af radioaktive Ba-137*-kerner i generatoren, og A er henfaldsaktiviteten af denne kernetype. Henfaldskonstanten for Ba-137* betegnes med k .

Vi malker nu minigeneratoren for flest mulige Ba-137*-kerner, og aktiviteten fra de resterende Ba-137*-kerner er derfor lavere end før malkningen. Antallet af nydannede kerner pr. tidsenhed af denne type er derimod den samme som før malkningen fordi antallet af Cs-kerner i generatoren er uændret.

Betegner vi ligevægtsaktiviteten med A_{eq} , vil formlen for væksthastigheden i antal Ba137*-kerner være

$$\frac{dN}{dt} = A_{eq} - k \cdot N \quad \text{væksthastighed for Ba-137* - kerner}$$

fordi A_{eq} er antal nydannede Ba137*-kerner pr. tidsenhed, og $k \cdot N$ er antal henfaldne Ba-137*-kerner pr. tidsenhed. Forskellen må derfor give væksthastigheden i antallet af Ba-137*-kerner.

Indfører vi nu henfaldsaktiviteten A i denne ligning, finder vi

$$\frac{1}{k} \frac{dA}{dt} = A_{eq} - A$$

eller

$$\frac{dA}{dt} = k \cdot (A_{eq} - A)$$

Differentialligning for aktiviteten af Ba-137*

Løsningen til denne ligning er

$$A = A_{eq} - (A_{eq} - A_0) \cdot e^{-k \cdot t}$$

Løsningsformel for aktiviteten

hvor aktiviteten ved starten på målingerne er betegnet med A_0 .

(indfør evt. substitutionen $u = A_{eq} - A$ i differentialligningen ovenfor hvis du vil eftervise denne formel)

Det er således muligt ud fra målingerne at bestemme både A_{eq} og henfaldskonstanten k .

Halveringstiden for Ba137*-henfaldet kan herefter beregnes fra

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{k}$$

Halveringstid og henfaldskonstant

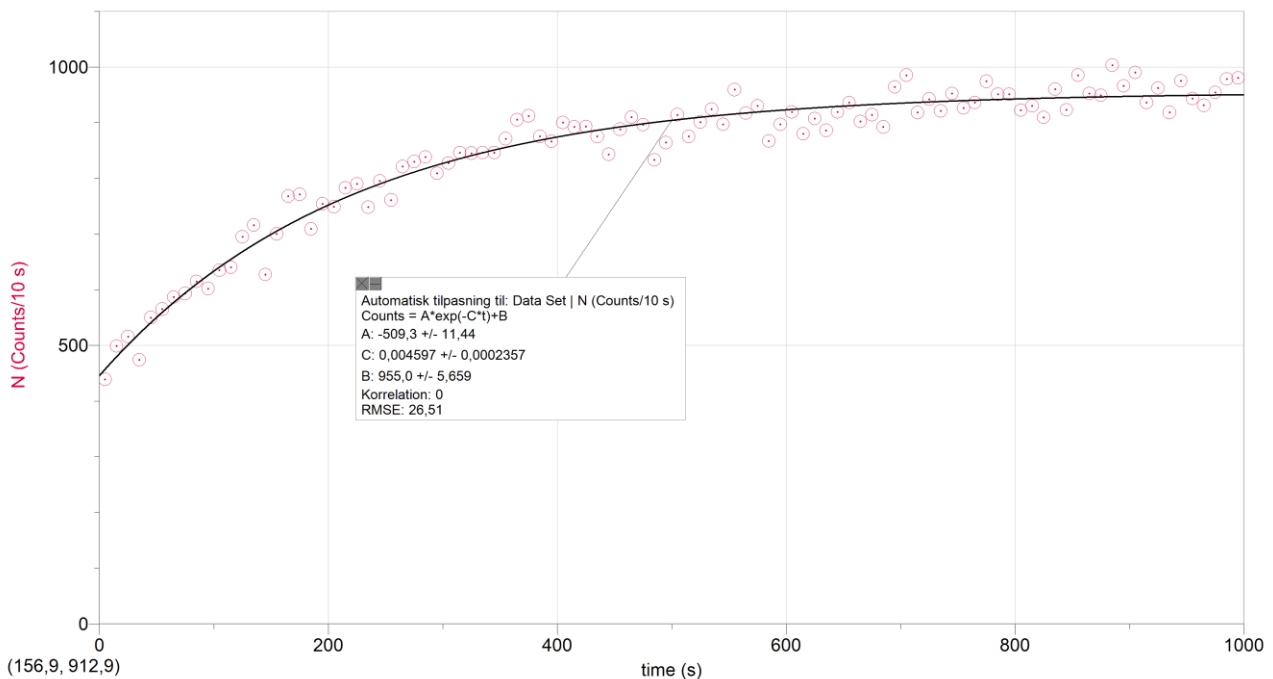
Tabelværdien er

$$T_{\frac{1}{2}} = 2,552 \text{ min} = 153,2 \text{ sek}$$

Tabelværdi, halveringstid for Ba-137*

Hvis tælle tallene er lovligt små med det anvendte GM-rør, kan der evt. bruges enten et rør med større 'vindue', eller 2 eller 3 GM-rør af samme type, der måler parallelt.

Nedenfor ses måleresultater og analyse med LoggerPro.



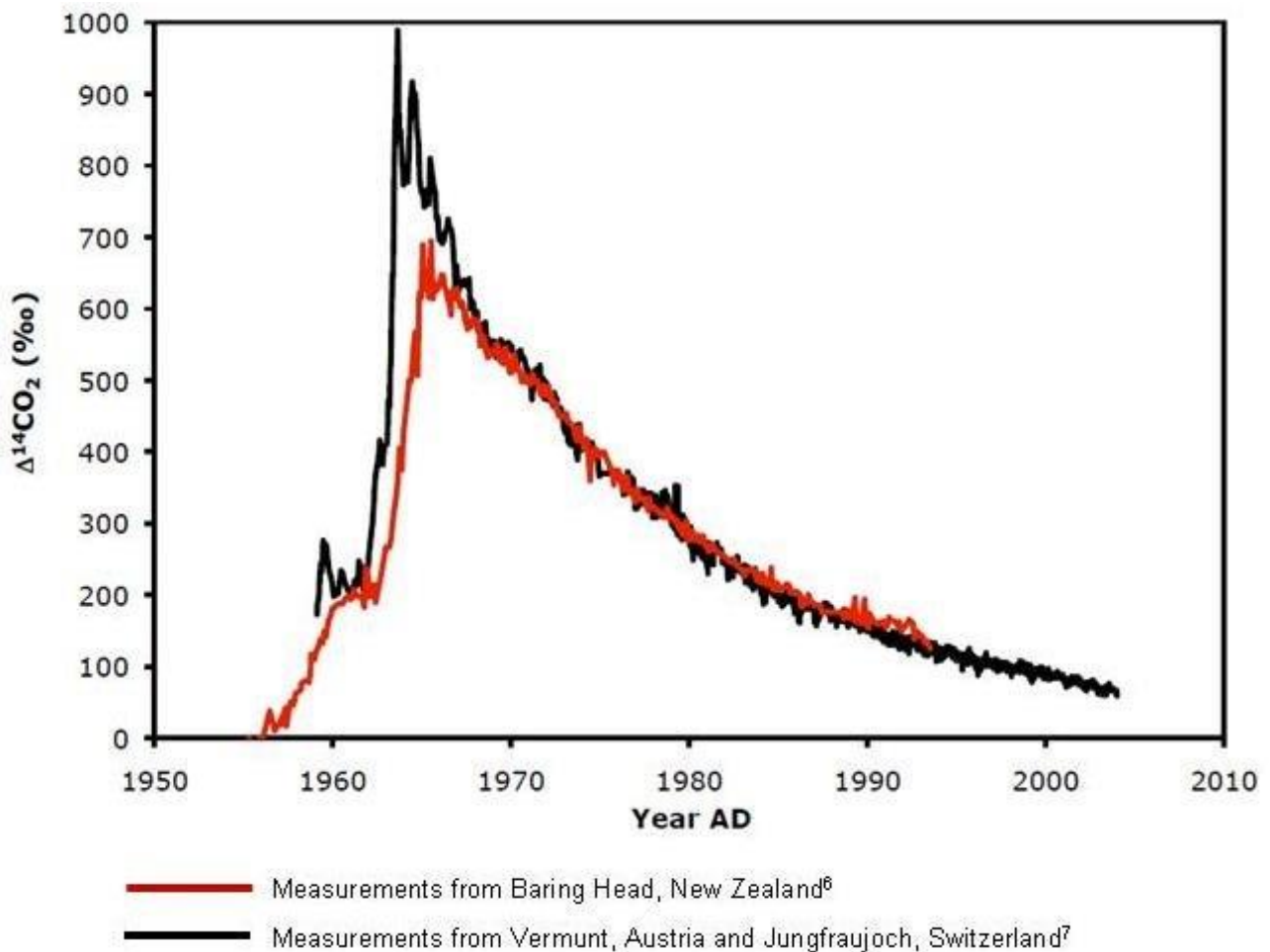
Figur: aktiviteten af minigenerator som funktion af tiden – og analyse med LoggerPro

Det fremgår, at ligevægtsaktiviteten er ca. 955/s og henfaldskonstanten er 0,004597/s +/- 0,0002357/s, det giver halveringstiden 151 sek +/- 8 sek. Ikke så ringe endda! Begyndelsesaktiviteten er 446/s. Så der var altså udvasket mere end halvdelen af de radioaktive Ba-137*-kerner fra kilden da målingen blev påbegyndt.

I realiteten er aktiviteten af minigeneratoren ca. 10 mikrocurie, eller ca. 370 kBq når den er ny. Den målte aktivitet er derfor kun en lille brøkdel af den faktiske.

Anden ligevægt/uligevægt for en radioaktiv isotop

Det er således den fysiske halveringstid for Ba-137*, der er afgørende for, hvor hurtigt ligevægten genoprettes. Efter nogle få halveringstider er generatoren 'oppe' igen. I modsætning til fx en uligevægt i C-14-aktiviteten i atmosfæren, hvor mange af C-14 atomerne vil indgå i CO₂ – molekyler og optages af havet og biologien knyttet til atmosfæren. Så den fysiske halveringstid for isotopen ikke relevant i genopretningen af ligevægten fx efter stoppet for de atmosfæriske tests af kernevåben (Nuclear Test Ban Treaty oktober 1963), som det fremgår af figuren nedenfor. Den største H-bombe der nogensinde er sprængt har efterladt sit eget mærke på denne kurve (Tsar – bomben 30. oktober 1961).



Kilde: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/isotopes/bombspike.html>

Den ekstra aktivitet fra C-14 aftager efter stoppet for atmosfæriske sprængninger (med ca. 4% pr år, svarende til halveringstiden 18 år. Det er jo langt under de 5730 år, som er den fysiske halveringstid for C-14.