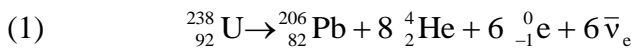


## Jordens og Solsystemets alder – uran-bly-metoden

- fra [www.borgeleo.dk](http://www.borgeleo.dk)

Vi ser her på den metode til bestemmelse af Jordens alder, der kunne kaldes uran-bly-isotop-metoden.

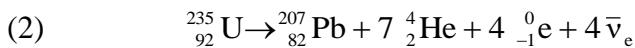
Antallet af atomer af den stabile blyisotop Pb-206 vil med tiden øges, da uran-isotopen U-238 henfalder til denne:



Disse 8 alfa-henfald og 6 beta-minus-henfald er styret af den lange halveringstid af U-238:

$$(1a) \quad T_{\frac{1}{2}, \text{U-238}} = T_8 = 4,468 \text{ Går} \quad k_8 = \frac{\ln(2)}{T_8} = 0,1551 \text{ Går}^{-1}$$

Antallet af atomer af den stabile blyisotop Pb-207 vil også øges med tiden, da uranisotopen U-235 henfalder til denne:



Disse 7 alfa-henfald og 4 beta-minus-henfald er styret af den lange halveringstid af U-235:

$$(2a) \quad T_{\frac{1}{2}, \text{U-235}} = T_5 = 0,704 \text{ Går} \quad k_5 = \frac{\ln(2)}{T_5} = 0,985 \text{ Går}^{-1}$$

Uran-isotoperne henfalder eksponentielt med tiden ( $t$  er Jordens alder):

$$(3) \quad N_8 = N_{8,0} \cdot e^{-k_8 \cdot t} \quad \Leftrightarrow \quad N_{8,0} - N_8 = N_8 \cdot (e^{k_8 \cdot t} - 1)$$

Her er  $N_8$  antallet af U-238 atomer nu,  $N_{8,0}$  er antallet af U-238 atomer ved Jordens dannelse ( $t = 0$ ). Tilsvarende med U-235-henfaldet:

$$(4) \quad N_5 = N_{5,0} \cdot e^{-k_5 \cdot t} \quad \Leftrightarrow \quad N_{5,0} - N_5 = N_5 \cdot (e^{k_5 \cdot t} - 1)$$

*Opgave 1* Begrund de sidste omskrivninger i (3) og (4).

Vi antager nu, at en meteorsten ikke har afgivet eller modtaget atomer i henfaldskæderne fra U-235 og U-238 til de tilsvarende blyisotoper.

Derfor vil antallet af nydannede blyisotoper være det samme som antallet af henfaldne uranisotoper:

$$(5) \quad N_6 - N_{6,0} = N_{8,0} - N_8 \quad \text{vækst i Pb-206 atomer} = \text{fald i U-238 atomer}$$

$$(6) \quad N_7 - N_{7,0} = N_{5,0} - N_5 \quad \text{vækst i Pb-207 atomer} = \text{fald i U-235 atomer}$$

Her er  $N_6$  antallet af Pb-206 atomer nu,  $N_{6,0}$  antallet af Pb-206 atomer ved Jordens dannelse. Og  $N_7$  antallet af Pb-207 atomer nu,  $N_{7,0}$  antallet af Pb-207 atomer ved Jordens dannelse.

Vi sammenholder nu ligningerne (3) og (5), samt (4) og (6):

$$(7) \quad N_6 - N_{6,0} = N_8 \cdot (e^{k_8 \cdot t} - 1)$$

$$(8) \quad N_7 - N_{7,0} = N_5 \cdot (e^{k_5 \cdot t} - 1)$$

Nu danner vi forholdet mellem ligningerne (8) og (7):

$$(9) \quad \frac{N_7 - N_{7,0}}{N_6 - N_{6,0}} = \frac{N_5 \cdot (e^{k_5 \cdot t} - 1)}{N_8 \cdot (e^{k_8 \cdot t} - 1)} = \frac{N_5}{N_8} \cdot \frac{(e^{k_5 \cdot t} - 1)}{(e^{k_8 \cdot t} - 1)}$$

Og – til sidst! – deler vi alle atom-antal på venstresiden med  $N_4$  – antallet af Pb-204 atomer, som er uændret siden Jordens dannelse:

$$(10) \quad N_4 = N_{4,0} \quad \text{Pb-204 er uændret siden Jordens dannelse}$$

$$(11) \quad \frac{\frac{N_7}{N_4} - \frac{N_{7,0}}{N_{4,0}}}{\frac{N_6}{N_4} - \frac{N_{6,0}}{N_{4,0}}} = \frac{N_5}{N_8} \cdot \frac{(e^{k_5 \cdot t} - 1)}{(e^{k_8 \cdot t} - 1)}$$

Nu er alle størrelser udtrykt ved isotopforhold – det er disse, der måles i praksis. Dels isotopforhold nu – dels isotopforhold ved Jordens dannelse. Isotopforholdene for bly-isotoperne ved Jordens dannelse kan vi selvfølgelig ikke vide noget om. Men holder vi os til meteoritter, kan vi regne med, at disse isotopforhold var de samme for dem alle – se senere. Det gælder ikke for de nuværende isotopforhold for meteoritter – de vil variere fra meteorit til meteorit, da nogle har indeholdt mere uran (i forhold til bly) end andre.

Vi omdøber bly-isotopforhold på denne måde:

$$(12) \quad y = \frac{N_7}{N_4} \quad \text{og} \quad x = \frac{N_6}{N_4}$$

og ligning (11) omformes så til

$$(11a) \quad \frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{N_5}{N_8} \cdot \frac{(e^{k_5 \cdot t} - 1)}{(e^{k_8 \cdot t} - 1)}$$

Men det er jo hældningskoefficienten for en ret linje, der går gennem  $(x_0, y_0)$  – hvis altså  $(x_0, y_0)$  er den samme for meteoritterne.

Hvis vi derfor afbilder bly-isotopforholdene  $x$  og  $y$  for forskellige meteoritter i et koordinatsystem, forventer vi at få en ret linje med en hældningskoefficient, der er tidsafhængig – se ligning (11a) eller (11). Bestemmer vi denne linjes hældning, kan vi finde Jordens alder ud fra ligning (11a), idet målinger mellem uran-isotoperne U-235 og U-238 viser, at

$$(13) \quad \frac{N_5}{N_8} = \frac{1}{137,88} \quad \text{U-235 til U-238-forhold nu}$$

Vi kan herefter skrive ligning (11a) som (her er (1a) og (2a) også benyttet):

$$(11b) \quad \frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{1}{137,88} \cdot \frac{(e^{0,985 \cdot t} - 1)}{(e^{0,1551 \cdot t} - 1)}$$

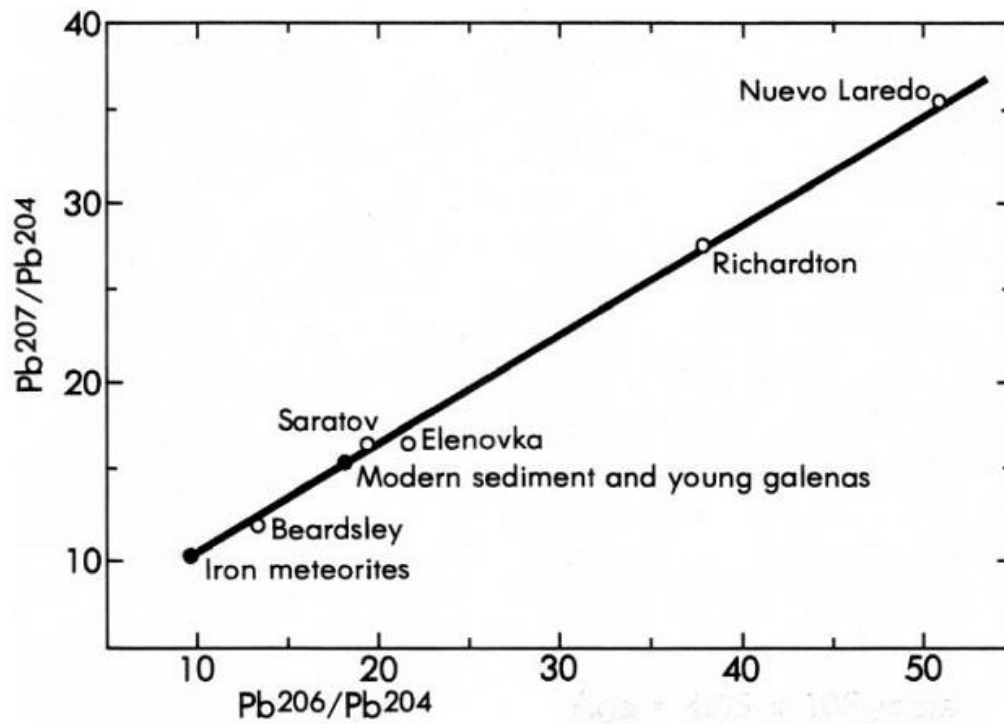
Her er tiden  $t$  målt i Går (milliarder år).

På figur 1 nedenfor ses blyisotopforhold bestemt for forskellige meteoritter. Som det ses, ligger datapunkterne pænt på en ret linje. Dette bekræfter, at de oprindelige isotopforhold ved meteoritternes dannelse var de samme. Et enkelt datapunkt stammer fra sedimenter fra dybhavet og mineralet blyglans på Jorden – og bekræfter, at meteoritter og Jorden har samme alder.

*Opgave 2* Bestem linjens hældningskoefficient – og brug solveren til at finde Jordens alder. Isotopforhold fra figur 1.

	pb206/pb204	pb207/pb204	206/204*	207/204*
Iron meteorites	9,62	10,32	9,56	10,42
Beardsley	13,26	12,01		
Modern sediment	18,06	15,57		
Saratov	19,34	16,54		
Elenovka	21,58	16,54		
Richardton	37,84	27,56		
Nuevo Laredo	50,83	35,59	50,28	34,8

*Opgave 3* Benyt Jordens alder til at beregne isotopforholdet mellem U-235 og U-238 ved Jordens dannelse. Hvor stor en procentdel af naturligt forekommende uran var U-235?



### Bly-isotopforhold for forskellige meteoritter

Jern-meteoritter: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/JZ067i003p01161/abstract>

Nuevo Laredo: Patterson 1956