

Rubidium-strontium-datering af Jorden og meteoritter

Af: Finn Boelsmand, lektor i fysik og kemi

Rubidium. Rb

Grundstoffet Rubidium (forkortes Rb) består af isotoperne:

- Rubidium-85 (forkortes ^{85}Rb). Den udgør 72,15%. Den er stabil.
- Rubidium-87 (forkortes ^{87}Rb). Den udgør 27,85%. Den er radioaktiv og henfalder/forsvinder med tiden.
- Dens halveringstid er 48,8 milliarder år.
- Dens henfaldskonstant er $k = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ år}^{-1}$.

Rb er i 1. hovedgruppe af det periodiske system (ligesom Natrium og Kalium, der forkortes Na og K) og kan formodes at findes lignende steder som Na og K.



Figur 1. Biotit. Et Kalium-mineral, hvor der på en del af Kaliums pladser sidder Rubidium.

Isotopforholdet mellem ^{87}Rb og ^{85}Rb er derfor:

- Isotopforhold (forkortes R87/R85, R for "ratio" = forhold) $27,85/72,15 = 0,3860$.

Det er ikke sikkert, at isotopforholdet er det samme for forskellige mineralprøver – dels fordi ^{87}Rb er radioaktiv og jo kan være henfaldet siden mineralernes dannelses-tidspunkter – dels fordi prøverne kan være blevet forstyrrede/mixede, hvilket også vil ændre isotopforholdet.

I en undersøgelse i 1963 fandt Shields og Gentner, at isotopforholdet for 27 silikatmineraler varierede fra 0,3842 til 0,3854, hvilket kun er 3 promilles variation = 3 o/oo. Isotopforholdet syntes næsten konstant. 3 o/oo variation kan forklares på én af følgende måder (evt. en kombination af flere måder):

- Radioaktivt henfald i ca. 218 millioner år.
- Mixing mellem to kilder – én med isotopforholdet 3 o/oo større end den anden.
- Andet (hvilke kendte fysiske og kemiske processer kan komme på tale?)

Strontium. Sr

Når ^{87}Rb henfalder danner det isotopen ^{87}Sr .

Grundstoffet Strontium (forkortes Sr) består af isotoperne:

- Strontium-84 (forkortes ^{84}Sr). Den udgør 0,57%.
- Strontium-86 (forkortes ^{86}Sr). Den udgør 9,86%.
- Strontium-87 (forkortes ^{87}Sr). Den udgør 7,02%. Den dannes ved radioaktivt henfald ^{87}Rb og kaldes derfor "radiogen" (=dannet ved radioaktivt henfald). Det er ikke givet, at al ^{87}Sr er radiogen.
- Strontium-88 (forkortes ^{88}Sr). Den udgør 82,56%.

Sr er i 2. hovedgruppe af det periodiske system (ligesom Magnesium og Calcium, der forkortes Mg hhv. Ca) og kan formodes at findes lignende steder som Mg og Ca.

Isotopforholdet mellem ^{87}Sr og ^{86}Sr henholdsvis mellem ^{88}Sr og ^{86}Sr er derfor:

- Isotopforhold (forkortes R87/R86, R for "ratio" = forhold) $7,02/9,86 = 0,7120$.
- Isotopforhold (forkortes R88/R86), $82,56/9,86 = 8,373$.

Det er ikke sikkert, at det første isotopforhold er det samme for forskellige mineralprøver – dels fordi ^{87}Sr er radiogen og jo kan være dannet siden mineralernes dannelses-tidspunkter – dels fordi prøverne kan være blevet forstyrrede/mixede, hvilket også vil ændre isotopforholdet.

I de fleste mineraler er isotopforholdet R87/R86 cirka 0,71. Kun i få mineraler er isotopforholdet større end 0,80. Her kan man ikke sige, at variationen fra 0,71 til 0,80, hvilket er 13%, kan forklares ved radioaktivt henfald i et bestemt antal år. Isotopforholdet vil nemlig også afhænge af mængden af rubidium. Variationen af isotopforholdet R87/R86 kan forklares på én af følgende måder (evt. en kombination af flere måder):

- En alderseffekt. Radioaktivt henfald i ? antal millioner år.
- En mixingeffekt. Mixing mellem to kilder.
- Andet.

Alderseffekt

Hvis ^{87}Rb henfalder radioaktivt til ^{87}Sr i tidens løb, vil der ske en formindskelse af ^{87}Rb (eller isotopforholdet R87/R85) og en forøgelse af ^{87}Sr (eller isotopforholdet R87/R86).

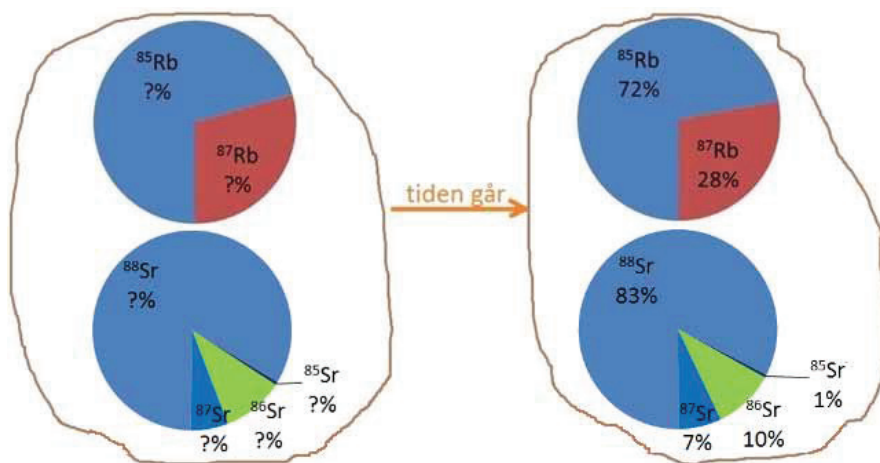
Dateringsformel:

$$\bullet \text{ Alder} = \frac{1}{k} \ln \left\{ 1 + \frac{{}^{87}\text{Sr}_{\text{m\ddot{a}lt}} - {}^{87}\text{Sr}_{\text{baggrund}}}{{}^{87}\text{Rb}_{\text{m\ddot{a}lt}}} \right\} \quad (\text{formel 1})$$

Det svage led i dateringsformlen er $^{87}\text{Sr}_{\text{baggrund}}$. Hvordan afgør man, hvor meget af ^{87}Sr i mineralprøven der er "baggrund", som altså var i mineralet ved dannelses-tidspunktet før der skete noget radioaktivt henfald af ^{87}Rb ? Man kan ikke se det på atomkernerne – de er uskelnelige ^{87}Sr uanset om de er "baggrund" eller "radiogene" (=dannet ved radioaktivt henfald).

Scenario. Alderseffekt.

Kl. 0. Mineral dannes/størkner/ udfælder/ udkrystalliserer og indkapsler baggrundsrubidium og -strontium.

Nu. Rubidium og strontium måles.

Figur 2. Alderseffekt. Lidt ^{87}Rb forsvinder/henfalder i tidens løb. Lidt ^{87}Sr dannes ved radioaktivt henfald.

Hvordan er det gået dateringsmetoden, hvis man antager at alt skyldes alders-effekt og intet skyldes mixing-effekt eller andet?

Uoverensstemmende dateringer

Hvis man måler på mineraler fra en geologisk formation opdager man at dateringer oftest ikke stemmer overens. Herunder er vist dateringer fra 1961 af grundfeld fra Syd-Afrika, hvor dateringerne varierer fra 4,5 til 2,1 milliarder år. Bemærk dateringerne af Muscovit: 4,54 milliarder år og 3,82 milliarder år.

- Er det et tilfælde, at en datering af Muscovit i Syd-Afrika giver 4,54 milliarder år? Det er jo tæt på nogle dateringer af Jorden (4,55 milliarder år). Hvad betyder det at Jorden og et mineral på Jorden giver samme datering? Er det en alders-effekt, mixing-effekt eller andet?

Bemærk de uoverensstemmende dateringer:

- For Half-way House granitten ligger dateringerne spredt fra 2,31 milliarder år til 4,54 milliarder år. Hvilken datering er den rigtige? Hvad betyder de andre dateringer? Må man frasortere dateringer der ikke passer med en bestemt teori? Er det ikke at frede en teori, hvilket man ikke skal gøre, for det gør den til pseudo-videnskab.

Bemærk at der er noget mønster i de uoverensstemmende dateringer:

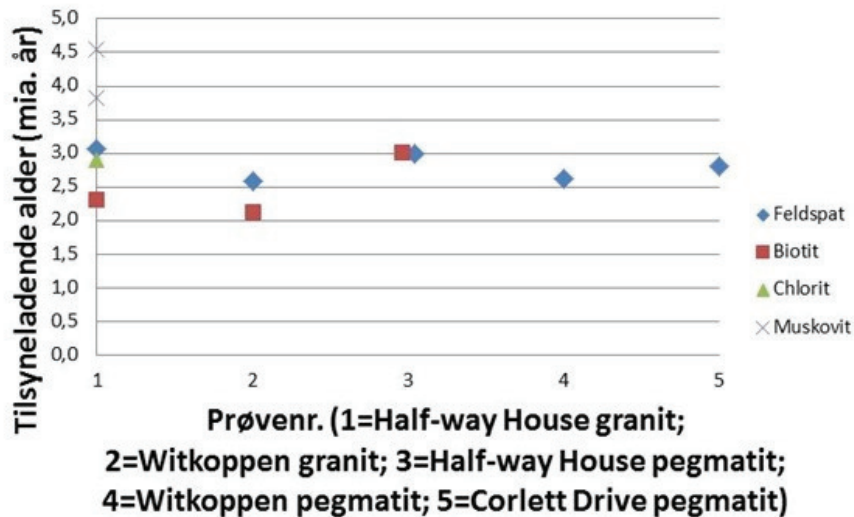
- Muscovit-dateringerne giver størst tal. Feldspat-dateringerne giver næststørst tal undtagen for Half-way House pegmatitten. Chlorit-dateringen giver næstmindst tal. Biotit-dateringerne giver mindst tal undtagen for Half-way House pegmatitten. Er

der noget der gør at Biotit-mineraler ofte, men ikke altid, giver mindre dateringer end Muscovit? Man skal være forsigtig med ikke at komme med en Ad hoc-teori, for at redde nogle bestemte dateringer. En bedre metode ville være, *før* man ser på dateringerne, at vurdere mineralernes kemiske ældningstilstand (forvitring). De mineraler der ser mest kemisk ældede ud forventes at være dem hvor Rb-Sr uret kan være blevet mest forstyrret. *Bagefter* kan man så se på dateringerne og være åben overfor om der opstår delvis modsigelse. Dermed sætter man en del af en kemisk ældningsteori (forvitring) på spil.

	Kilde (formation)	Mineral	Tilsyneladende alder		
1	Half-way House granit	Feldspat	3,060	±	0,100
		Biotit	2,310	±	0,040
		Chlorit	2,890	±	0,280
		Muskovit A	4,540	±	0,230
		Muskovit B	3,820	±	0,160
		Apatit			
2	Witkoppen granit	Epidot			
		Feldspat	2,580	±	0,290
3	Half-way House pegmatit	Biotit	2,120	±	0,010
		Feldspat	3,010	±	0,030
4	Witkoppen pegmatit	Feldspat	3,000	±	0,040
		Feldspat	2,620	±	0,060
5	Corlett Drive pegmatit	Feldspat	2,800	±	0,030

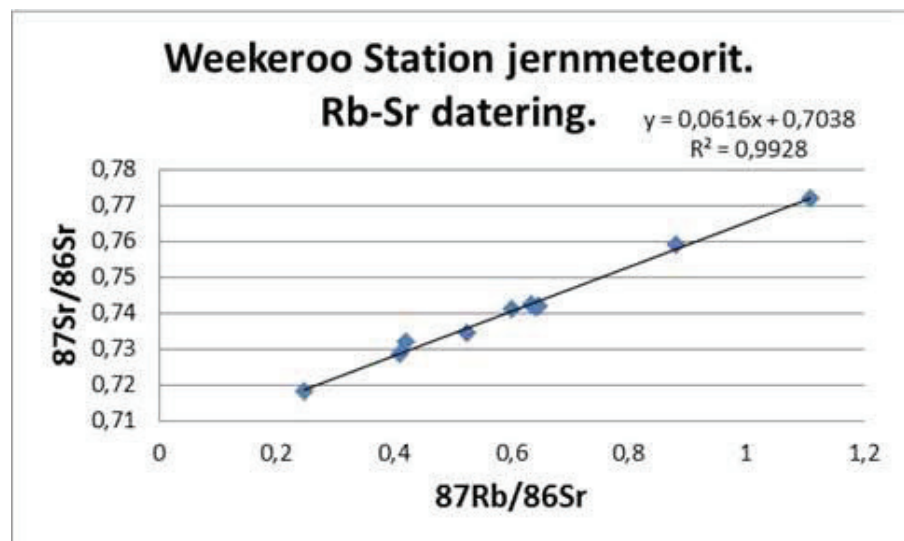
Table 1. Uoverensstemmende dateringer fra Transvaal, Syd-Afrika. Antagelse: ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)=0,71.

Uoverensstemmende Rb-Sr dateringer. Syd-Afrikas grundfjeld.

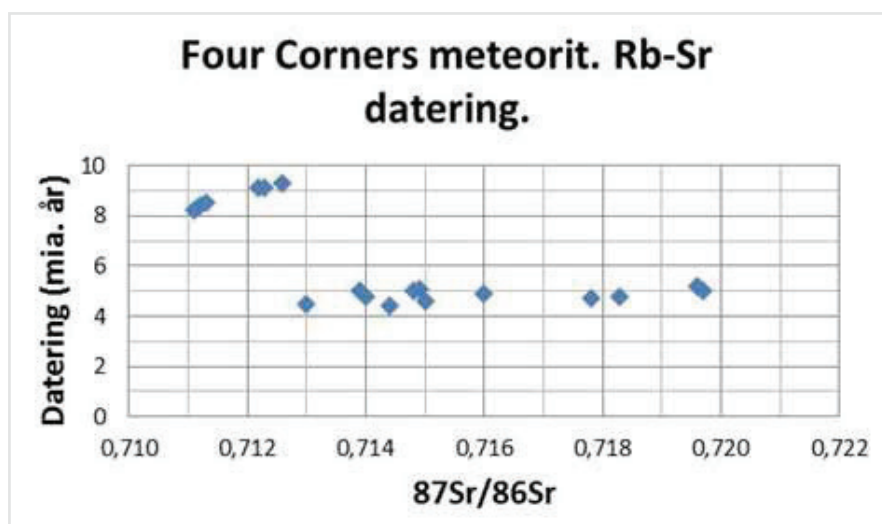


Figur 3. Uoverensstemmende Rb-Sr dateringer fra Transvaal, Syd-Afrika.

Figur 4. Rb-Sr datering af silikat fra Weekeroo Station jernmeteoritten.



Figur 5. Rb-Sr datering af Four Corners jernmeteoritten.



Meteoritter

I 1967 fik Burnett & Wasserburg udgivet en artikel om Rb-Sr datering af jernmeteoritter. Den blev berømt pga. grafen for Weekeroo Station-meteoritten:

Bemærk at målepunkterne ligger 99,28% på en ret linie.

Aldersformlen giver en datering på 4,37 milliarder år.

- Burnett & Wasserburgs scenario er at meteoritten blev dannet for 4,37 milliarder år siden med isotopforholdet $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,703$. Siden har ^{87}Rb henfaldet til ^{87}Sr . Meteoritten antages at have været uforstyrret siden, så der ikke er sket ydre ændringer af Rubidium og Strontium. Sluttelig faldt den ned på Jorden og blev fundet og målt på. Det lineære mønster af målepunkter tages som en bekræftelse af scenariet. En Rb-Sr datering på 4,37 milliarder år stemmer næsten overens med U-Pb dateringer på 4,54 milliarder år for andre meteoritter.

I samme artikel af Burnett & Wasserburg var der imidlertid måling på 8 andre meteoritter. Én af dem er Four Corners-meteoritten:

Bemærk, at dateringerne fordeler sig i 2 grupper.

- Four Corners jernmeteoritten har en stor gruppe dateringer fra 4,44 milliarder år til 5,18 milliarder år, hvilke har et gennemsnit på 4,84 milliarder år $\pm$ 4%. Det er jo en datering der er 7% større end de 4,55 milliarder år fra nogle andre meteoritter. Er Four Corners en ældre meteorit end nogle andre?
Four Corners har imidlertid også en gruppe dateringer fra

8,23 milliarder år til 9,35 milliarder år, hvilke har et gennemsnit på 8,79 milliarder år $\pm$ 4%. Det er jo en datering der er cirka dobbelt så stor som de 4,55 milliarder år fra nogle andre meteoritter og næsten nøjagtigt dobbelt så stor som deres Rb-Sr datering ($=4,37$ milliarder år) af Weekeroo Station-meteoritten.

Bemærk at de 2 grupper er adskilt mht. isotopforholdet $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Meteoritten er sammensat af dele der har forskellig baggrunds-Strontium. Det påvirker det svage led i aldersformlen (formel 1).

Den ene gruppe har isotopforholdet $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ fra 0,7111 til 0,7126. Den anden gruppe har isotopforholdet $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ fra 0,7130 til 0,7197.

Er der tale om en mixing mellem 2 kilder med blandt andet forskelligt isotopforhold $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$?

Litteratur

D. York & R. M. Farquhar: *The Earth's Age and Geochronology*. Pergamon Press (1972).

D. S. Burnett & G. J. Wasserburg: *^{87}Rb - ^{87}Sr Ages of Silicate Inclusions in Iron Meteorites*. Earth and Planetary Science Letters 2 (1967) 397-408.

F. L. Nielsen: *Radioaktive dateringsmetoder*. Civilingeniørspéciale. DTU, IAU (tidl. AFE) (1985). Bind I: 80 sider. Bind II (litteraturtillæg): 450 sider. Bind III: 29 sider + 92 sider litteratur.

F. L. Nielsen: *Radioaktive dateringsmetoder*. Civilingeniørspéciale. DTU, IAU (tidl. AFE) (1985), bind III side 15-20.

Fred Kruijnen - <http://wannenkopfe.strahlen.org/biotite16.html>

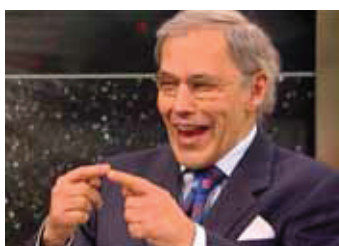
Holger

Af: Finn Boelsmand, lektor i fysik og kemi.

Holger Bech Nielsen (1941-), professor i teoretisk højenergifysik ved NBI (=Niels Bohr Institutet), KU (=Københavns Universitet). Kendt for originale bidrag til strengteori, teorien om alting. Har i TV og radio med smittende begejstring populariseret teoretisk fysik og kaldes "Danmarks første stand-up fysiker". Holger Bech Nielsen regner på:

- "teorien for alting",
- "tidsrejser gennem ormehuller",
- "babyuniverser",
- "vakuumbombe" og har beregnet at når man engang finder Higgs-partiklen vil den veje $135 \text{ GeV}/c^2$.

Kommentar: Holger Bech Nielsen er en modig person, der godt tør tænke i både et gammelt og et nyt paradigme (For en forklaring på paradigme, se artiklen: *Paradigmer* side 16 i dette



Figur 1. Holger Bech Nielsen

nr.). Han kender det gamle paradigme ud og ind, men regner på nogle usædvanlige eksempler, som nogen afviser, fordi det ikke er normal videnskab. De passer bedre i et nyt paradigme. Ved at forudsige massen af Higgs-partiklen sætter han en del af sine teorier på spil med dristige gæt, som man jo skal gøre i den hypotetisk-deduktive metode (For en forklaring på hypotetisk-deduktiv metode, se artiklen: *Popper* side 10 i dette nr.).

Hvis han får ret, er der kun en måde han kunne have vidst det på. Ved at have en god teori. Hans usædvanlige teorier vil altså vinde respekt, hvis han får ret. Hvis han får uret, vil folk muligvis lytte mindre til hans usædvanlige teorier. Men mon ikke hans smittende begejstring altid vil sikre ham et publikum!

Litteratur

http://www.denstoredanske.dk/It_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Fysikere_og_naturvidenskabsfolk/Holger_Bech_Nielsen

http://da.wikipedia.org/wiki/Holger_Bech_Nielsen

Gitte Post - <http://www.rustonline.dk/2012/11/06/holger-bech-nielsen-professor-pa-fuld-tid/>