

Radiohalos

Af Finn Lykke Nielsen Boelsmand,
cand. polyt. med speciale i
"Radioaktive dateringsmetoder"¹²



Robert V. Gentry

Den forsker der mere end nogen anden har gjort radiohalos berømte er Robert V. Gentry.

Han har personligt undersøgt tusindvis af radiohalos og har et omfattende forfatterskab, som interesserede læsere henvises til – se litteraturlisten.

Han er af den mening at tolkningen af polonium-halos, mini- og kæmpe-halos bør føre til et mere åbent sind blandt forskere overfor andre teorier end de gængse m.h.t. mineraldannelse og Jordens historie i det hele taget.

Uran og henfaldsfamilier

Grundstoffet uran (U) består af især de 3 isotoper U-238, U-235 og U-234, der alle har Z=proton-tallet/atomnummeret=92, men adskiller sig m.h.t. antal neutroner, hhv. 142 (=238-92), 139 og 138. Mere udførligt skrives isotoperne med angivelse af massetal foroven og atomnummer forneden:



I de fleste uranminerale finder man isotoperne U-238 og U-235 i antalsforholdet:

$$\frac{U-238}{U-235} = \frac{99,2739\%}{0,7190\%} = \text{ca. } 138,0$$

- dvs. der er 138 gange så mange U-238 atomer som U-235 i mineralet.

Alle kendte uranisotoper er radioaktive og henfalder langsomt igennem henfaldskæderne: Uran-familien, Actinium-familien, Neptunium-familien. Desuden findes en 4. henfaldskæde man ofte nævner sammen med urans henfaldskæder: Thorium-familien. I figur 1-4 er vist de 4 familier, hvor dog kun hyppige (=forgreninger med sandsynlighed større end 2%) α -henfald er specificeret. I figurerne er β -, γ - og sjældne (=forgreninger med sandsynlighed mindre end 2%) α -henfald ikke specificerede. (Dataene er fra ¹ og ², men findes i mange andre opslagsværker. NB: Der er små forskelle i halveringstider og α -energier m.m. imellem de forskellige opslagsværker.)

Sagen kort

Artiklens forfatter gør sig til talsmand for at man går til de radiometriske dateringsmetoder med et noget mere åbent sind end man ellers ofte ser. De er nemlig ikke så entydige som man skulle tro. I denne artikel finder vi en faglig gennemgang af fænomenet *radiohalos* som er "en dateringsmetode for mineraldannelse som umiddelbart givet et andet billede end det gængse". Det vil nok komme som en overraskelse for de fleste at man i den videnskabelige litteratur "ser at de meget anvendte radiometriske dateringsmetoder generelt ikke stemmer overens ved datering af samme mineral". – Så her er chancen for at få genopfrisket – og suppleret – gymnasiets fysikundervisning. Og for nuværende stud.art.'er, stud.scient.'er og stud.polyt.'er at få bygget sig en solid basis for en topkarakter i specialet om isotoper og radioaktive stoffer. Her er virkelig stof at blive klogere på.

.b

Eksempel (se figur 1): ${}_{92}^{238}\text{U}$ (=uran-238) henfalder radioaktivt til ${}_{90}^{234}\text{Th}$ (=thorium-234) under udsendelse af en α -partikel. En α -partikel er identisk med en ${}_{2}^{4}\text{He}$ (=helium-4) kerne. α -partiklen udsendes med en af de to mulige energier: $E_{\alpha} = 4,20 \text{ MeV}$ eller $E_{\alpha} = 4,15 \text{ MeV}$.

MeV (=mega-elektronvolt) er en meget

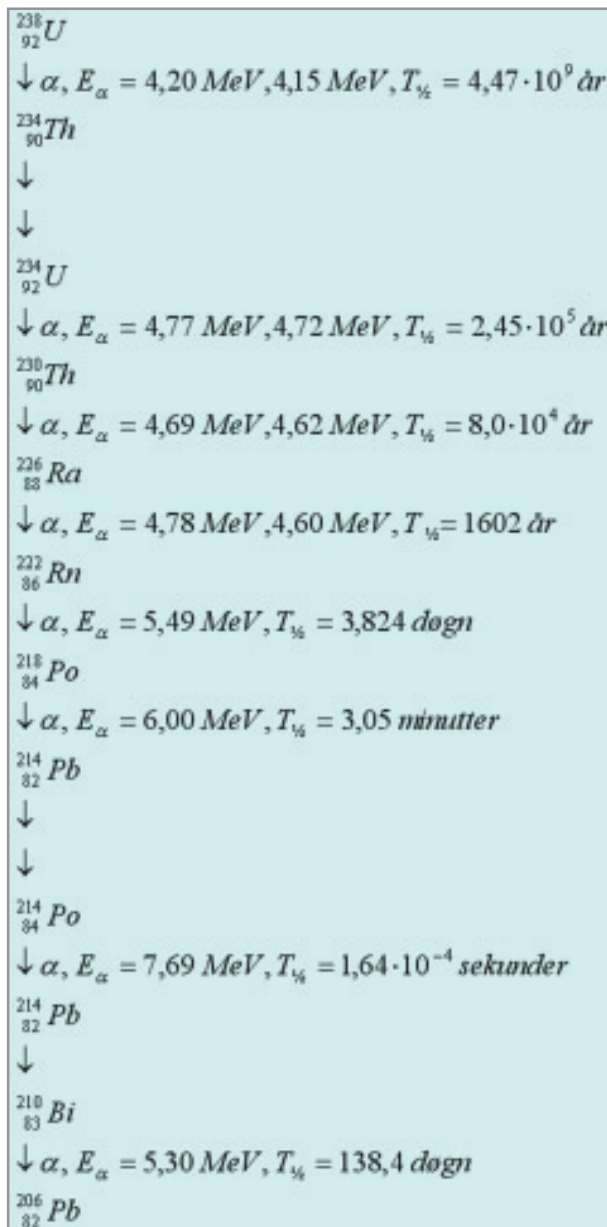
anvendt energienhed for kerneprocesser.

$$1 \text{ MeV} = 1,602 \cdot 10^{-3} \text{ J, dvs. } E_{\alpha} = 4,20 \text{ MeV}$$

$$= 4,20 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 6,73 \cdot 10^{-13} \text{ J.}$$

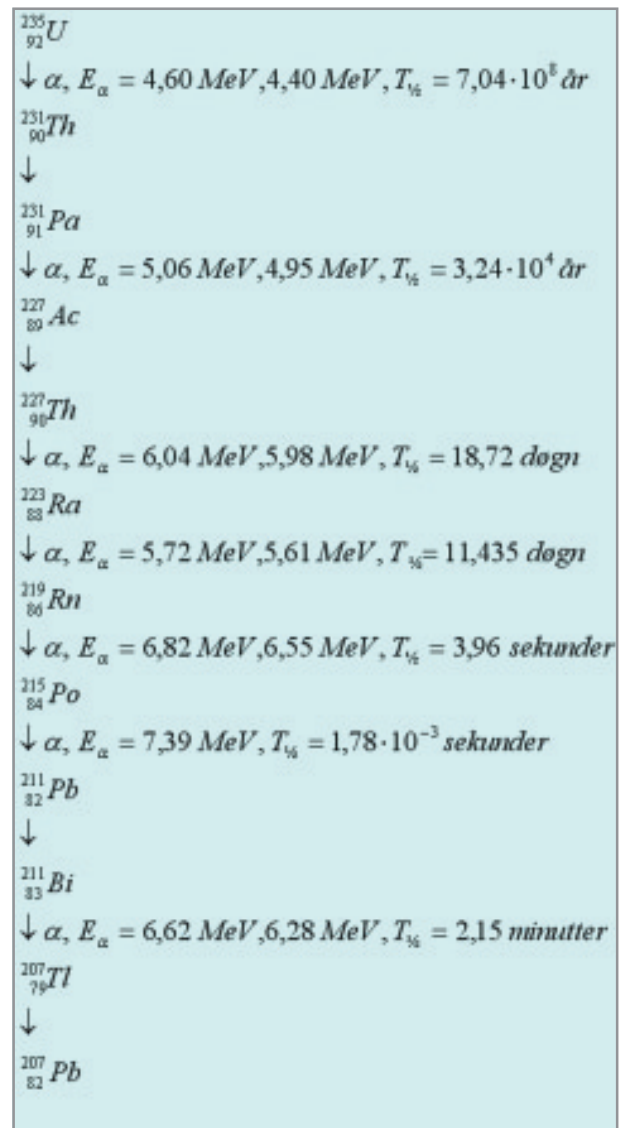
For at undgå de små joule-tal er det meget lettere at anvende mega-elektronvolt-tal.

Halveringstiden for henfaldet er $T_{1/2} = 4,47 \cdot 10^9 \text{ år}$ – dvs. hvis man har f.eks. 10^{23} U-238 kerner, vil der i løbet af $4,47 \cdot 10^9 \text{ år} = 4,47 \text{ milliarder år}$ henfalde (ved det viste α -henfald) halvdelen, dvs.



Figur 1. Uran-familien (kun hyppige α -henfald er specificeret) ¹ side 179, ² side 11-28 – 11-132.

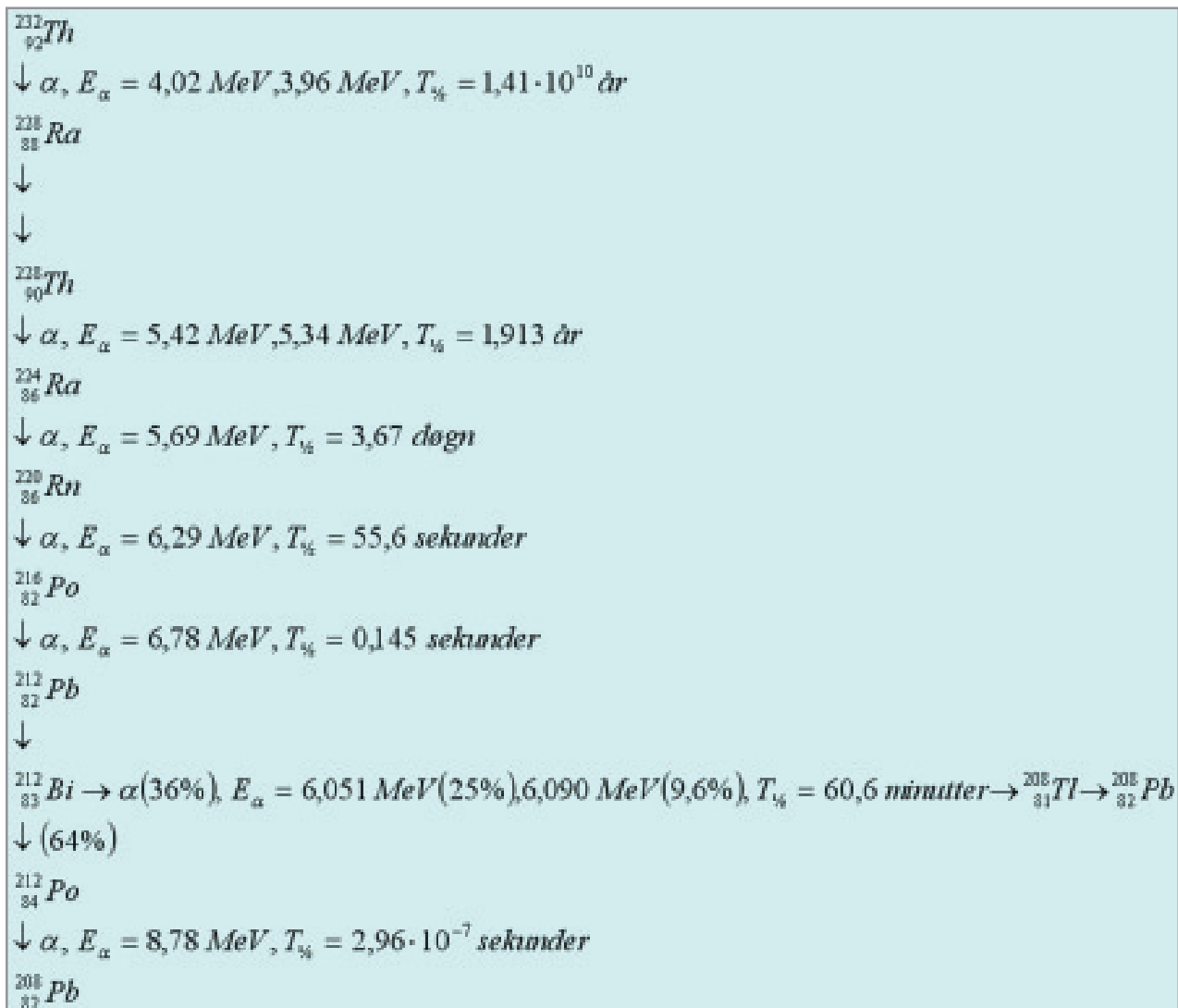
$5 \cdot 10^{22}$ U-238 kerner, som altså forsvinder fra U-238-puljen, og alle vil blive til Th-234, der igen henfalder gennem to led til U-234 (=uran-234), der igen henfalder ved et α -henfald ($E_{\alpha} = 4,77 \text{ MeV}, 4,72 \text{ MeV}, T_{1/2} = 2,45 \cdot 10^5 \text{ år}$) til Th-230 (=thorium-230), der igen henfalder ... osv. ... til Pb-206 (=bly-206), der er enden af henfaldskæden, og som er stabilt (=ikke-radioaktivt).



Figur 2. Actinium-familien (kun hyppige α -henfald er specificeret) ¹ side 179, ² side 11-28 – 11-132.

Når man taler om ét grundstofs forskellige atomkerner, kalder man dem *isotoper*. Når man taler om flere grundstoffs forskellige atomkerner, kalder man dem *nuklider*.

For dem som kan læse svensk, se <http://sv.wikipedia.org/wiki/Isotoptabell> for nærmere forklaring.

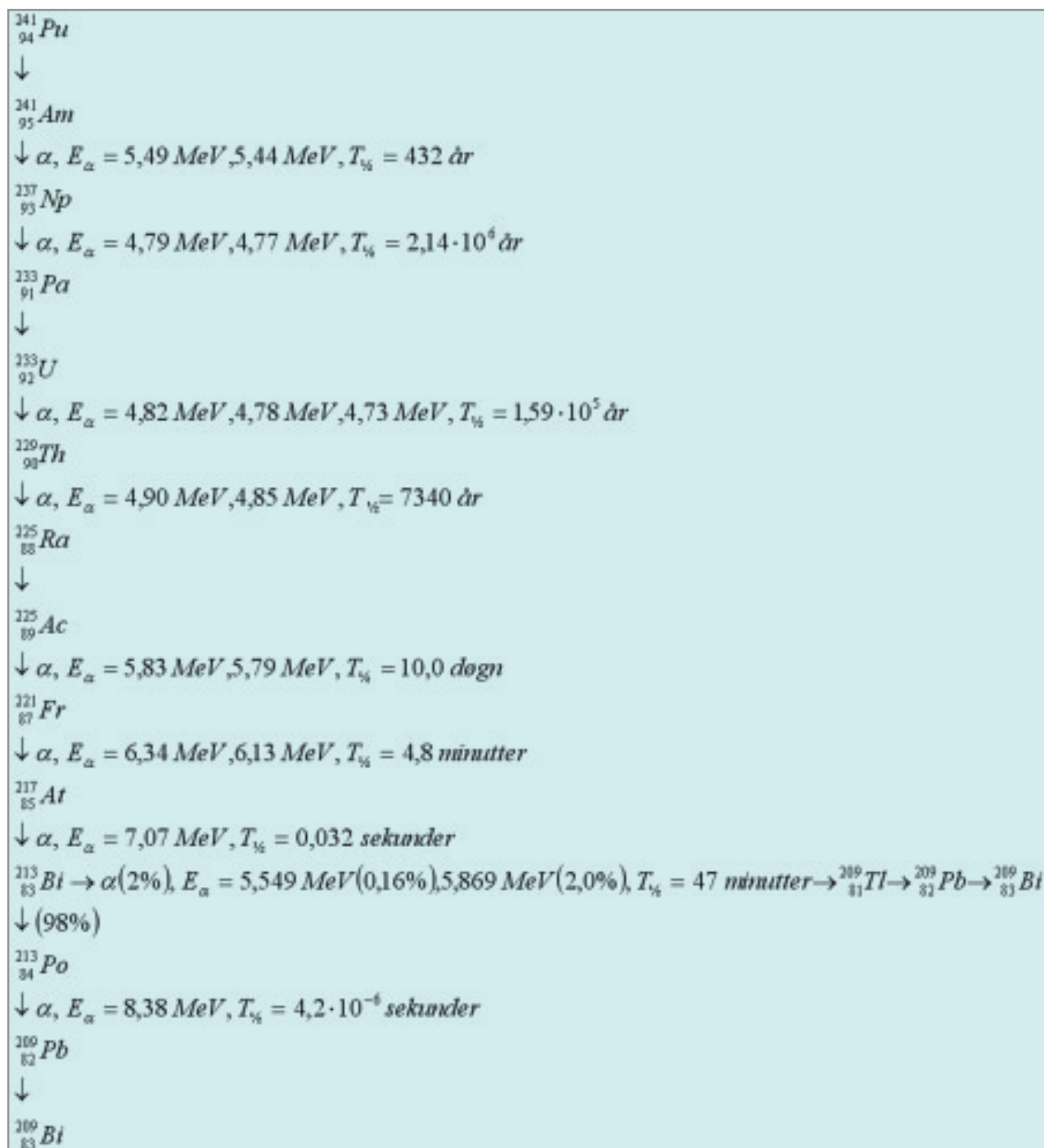


Figur 3. Thorium-familien (kun hyppige α -henfald er specificeret) 1 side 178, 2 side 11-28 – 11-132.

Et uran-mineral vil altså langsomt komme til at indeholde mindre og mindre U-238 og mere og mere Pb-206. Da alle mellemliggende led i kæden har faste halveringstider forskellig fra nul, vil mineralet også indeholde alle disse nuklider i bestemte ligevægtsmængder. U-234 har en forholdsvis stor halveringstid, mens Po-214 har en forholdsvis lille halveringstid. Derfor vil der ved ligevægt være væsentligt mere U-234 end Po-214 i mineralet.

Et uran-mineral med hele henfaldskæderne: Uran- og actinium-familien i gang, vil altså udsende α -partikler med ca. 25 forskellige energier.

Samtidig med at mineralet U-238 henfalder via uran-familien, vil mineralets U-235 henfalde via actinium-familien til Pb-207.

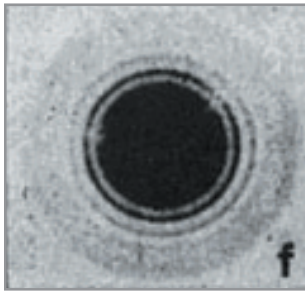


Figur 4. Neptunium-familien (kun hyppige α -henfald er specificeret) 1 side 178, 2 side 11-28 - 11-132.

Radiohalos

Pga. α -partiklernes store energi (3,96 - 7,69 MeV) vil deres sammenstød med mineralers krystalstruktur kunne bevirke farve- og strukturændringer. Hvis et mineral indeholder små korn af et uran- eller thorium-mineral, vil de udsendte α -partikler fra uran- eller thorium-mineralet kunne danne farvede kugleskaller i det omgivende mineral der, når mineralet skæres i skiver, fremtræder som (koncentriske) farvede cirkler, de såkaldte radiohalos – se figur 5.

Hvis det indesluttede mineralkorn er mindre end ca. 1 μm , dannes pæne ringe. Hvis mineralkornet er væsentligt større, dannes et mere sløret mønster. α -partiklen støder på sin vej sammen med mange elektroner i det omgivende mineral. Årsagen til at farvningen sker til sidst i dens bane (afstanden R i formlen herunder fra det indesluttede mineralkorn), er at den afgiver hovedparten af sin energi til sidst. Der skal altså en vis energitilførsel til for at farve det omgivende mineral. Gentry regner (udfra egne og andres forsøg) at der skal



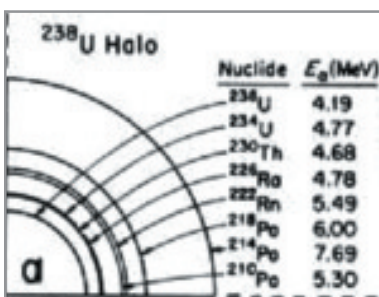
Figur 5. Radiohalos i biotit (biotite) dannet fra et uranmineral (Gentry 1973 ⁵ side 348).

ca. $2 \cdot 10^7$ α -henfald til for at danne en synlig ring. Et betragteligt større antal α -henfald kan igen blegge ringen noget.

Da ringenes (som faktisk er kugleskaller) areal vokser som $A = 4 \cdot \pi \cdot R^2$, skal der flere α -henfald til at danne en synlig ring med stor radius end en synlig ring med lille radius.

Man finder serier af tydelige og mindre tydelige ringe.

Det viser sig at de farvede ringes radier (R) er proportionale med urans udsendte α -partikelenergi (E_α), jf. figur 6. Begrundelsen for kun at sammenligne med uran-familien (= ^{238}U Halo) og ikke actinium-familien (= ^{235}U Halo) er at farvningen af krystallen er afhængig af antal α -henfald med en bestemt energi, og da isotopforholdet $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ = ca. 138,0, vil det være farvningen fra uran-familien der dominerer. (Denne forklarings gyldighed er dog afhængig af mineralets alder. Hvis man forestiller sig at mineralet f.eks. var flere milliarder år gammelt, ville actinium-familien bidrage væsentligt til radiohalos. Da man altså finder tydelige ringe fra uran-familien, men ikke fra actinium-familien tyder dette på at mineralet er ungt og ikke flere milliarder år gammelt.)



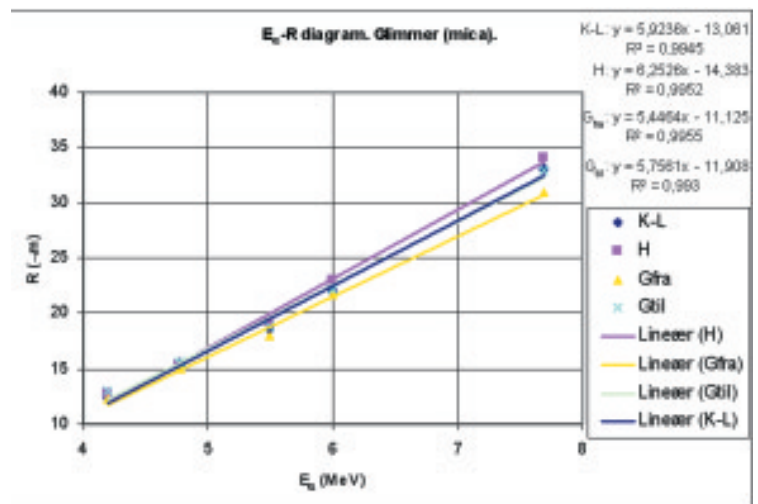
Figur 6. Sammenligning mellem α -energi og haloradier (fra Gentry 1973 ⁵ side 348, figur 1, udsnit).

På figur 6 kan man se at overensstemmelsen mellem α -energi og haloradier er OK. Vil man have et tal for hvor god overensstemmelsen faktisk er, kræver det et dataskema – se figur 7 – lineær regression og beregning af korrelationskoefficienten.

Nuklid	Målte U-haloradier (μm)					
	Glimmer (mica)			Fluorit		Cordierit
	K-L	H	G	S	G	M
^{238}U	12,3	12,7	12,2 \Rightarrow 13,0	14,0	14,2	16
^{226}Ra	15,4	15,3	14,9 \Rightarrow 15,6	16,9	17,1	19
^{230}Th	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.
^{234}U	15,4	15,3	14,9 \Rightarrow 15,6	16,9	17,1	19
^{210}Po	i.s.	i.s.	i.s.	19,3	19,5	i.s.
^{222}Rn	18,6	19,2	17,9 \Rightarrow 18,8	20,5	20,5	23,5
^{218}Po	22,0	23,0	21,7 \Rightarrow 22,2	23,5	23,5	26,5
^{214}Po	33,0	34,1	31,0 \Rightarrow 32,9	34,5	34,7	38,5

Figur 7. Målte haloradier. (reproduceret efter Gentry 1973 ⁵ side 354). i.s.=ikke skelnet. K-L=Kerr-Lawson ⁶. H=Henderson ⁷. S=Schilling ⁸. M=Mahadevan ⁹. G=Gentry.

Plotter man målte haloradier (R) fra figur 7 mod α -energi (figur 1) for de 3 (4) datasæt for glimmer (mica) og foretager lineær regression for hvert sæt, får man figur 8.



Figur 8. Målt haloradius versus α -energi. Lineære regressionsligninger. Glimmer (mica).

Det ses at korrelationskoefficienten "R²" (har ikke noget at gøre med haloradius R) ligger i intervallet 0,993 - 0,996 for de uafhængige forskere K-L, H og G. Det betyder at sammenhængen mellem α -energi og haloradius er særdeles godt repræsenteret ved rette linjer.

Gentry anfører ^{5 side 354} at han aflæser R med nøjagtigheden 0,07 μm . En anden usikkerhed der kan forekomme, er hvis uran-krystallens størrelse ikke er meget lille i forhold til R. Skal man måle R fra centrum af uran-krystallen eller fra dens nærmeste flade? Gentry skønner at hans totale usikkerhed på målingen af R er $\pm 0,3 \mu\text{m}$. At Gentry har et interval (f.eks. 12,2 \rightarrow 13,0) for målingen af R, skyldes bl.a. at glimmer (mica) ikke er helt ens overalt på Jorden. (Det har en lidt forskellig kemisk sammensætning og dermed elektrontæthed. Derved bliver der et interval for α -rækkevidden for α -partiklerne bremser netop ved at støde ind i mineralets elektroner.) Han har den relative afvigelse på målingen af R til ca. 2-3%.

Det ses at de 3 uafhængige forsker har nogenlunde overensstemmende resultater. K-L's målinger af R afviger ca. 1-3% fra G's. H's målinger af R afviger ca. 1-7% fra G's.

(Tilsvarende plots som figur 8 for de andre mineraler fluorit og cordierit giver korrelationskoefficienter 0,993 - 0,994 hhv. 0,997, altså også særdeles god lineær sammenhæng.)

For en bestemt α -energi bliver haloradius-forholdet for henholdsvis glimmer (mica), fluorit og cordierit ca. 1 til 1,03 til 1,16, dog lidt afhængig af E_{α} . Dvs. rækkevidden af α -partikler stiger fra glimmer (mica) over fluorit til cordierit.

Nuklid	⁴ He induceret haloradier (μm)				
	Glimmer (mica)			Fluorit	Cordierit
	G _L	G _M	G _D	G	G
²³⁸ U	13,4	13,8	14,2	14,1	16,2
²²⁶ Ra	i.m.	16,7	i.m.	17,3	19,2
²³⁰ Th	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
²³⁴ U	i.m.	16,7	i.m.	17,3	19,2
²¹⁰ Po	i.m.	19,3	20,0	19,6	22,5
²²² Rn	i.m.	20,5	21,1	i.m.	i.m.
²¹⁸ Po	i.m.	23,0	23,9	23,6	26,7
²¹⁴ Po	33,1	33,9	34,4	34,6	38,7

Figur 9. Inducerede haloradier. (reproduceret efter Gentry 1973 ^{5 side 354}). i.m.=ikke målt. G=Gentry. G_L, G_M og G_D=Gentrys målinger på lys (L), medium (M) eller mørkt (D) inducerede radiohaloer.

Det kan begrundes med at cordierit netop har mindst elektrontæthed, fluorit næstmindst og glimmer (mica) størst elektrontæthed af de 3 nævnte mineraler. Udsendte α -partikler bremser ved sammenstød med mineralets elektroner og bremser altså hurtigst i glimmer (mica) og får derved den korteste rækkevidde/haloradius.

Gentry har prøvet kunstigt at fremkalde farvning (=inducerede radiohalos) ved at udsætte mineraler for bestråling med en lille uran-kilde. Derved fandt han resultaterne vist i figur 9.

Plotter man målte haloradier (R) fra figur 9 mod α -energi (figur 1) for de 3 datasæt for glimmer (mica) og foretager lineær regression for hvert sæt, får man figur 10.

Det ses at sammenhængen mellem E_{α} og R næsten er perfekt lineær for hver af de tre farvningsgrader. Det ses også at R afhænger svagt af farvningsgraden. Ved stærkere bestråling fås større R – dog kun nogle få % større. En lettere bestråling (L) og en større bestråling (D) giver R der afviger ca. 1-4% fra medium bestråling (M).

Poloniumhalos

Nogle af de radiohalos man finder matcher ikke *bele* uran-familien, men kun *den sidste del af den* – se figur 11.

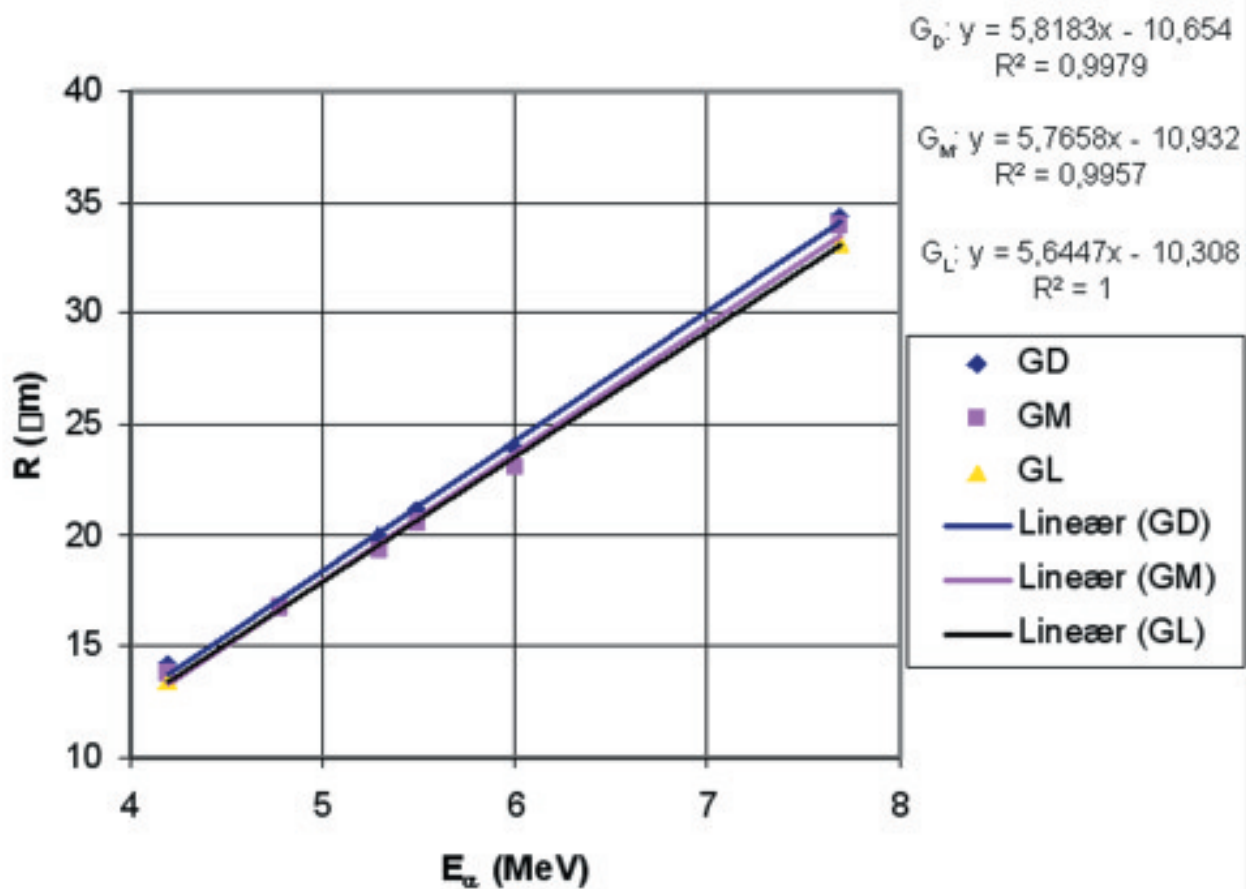
I figur 11 ses radiohaloen matche uran-familiens α -energi fra Po-218 at regne. Der er ikke spor af α -henfald fra den første del af uran-familien (fra U-238 til Rn-222). Den umiddelbare tolkning af det er at da fluoritmineralet blev dannet, blev der ikke inkluderet et lille uran-mineral, men i stedet et lille polonium-mineral (tilført fra en uran-henfaldskæde i nærheden?). Så må man imidlertid *overveje hvordan mineralet kan dannes på så kort tid, at polonium først bagefter henfalder* ($T_{1/2}=3,05$ minutter for Po-218) *og danner radiohalos? Vi er altså nede i minutter for mineraldannelse.*

Begrundelsen for at polonium-mineralets Po-215 og efterfølgende led i actinium-familien ikke har givet synlige radiohalos, er igen at isotopforholdet mellem U-238 og U-235 er lig med 138,0, hvorfor Po-218's henfaldskæde vil dominere over Po-215's.

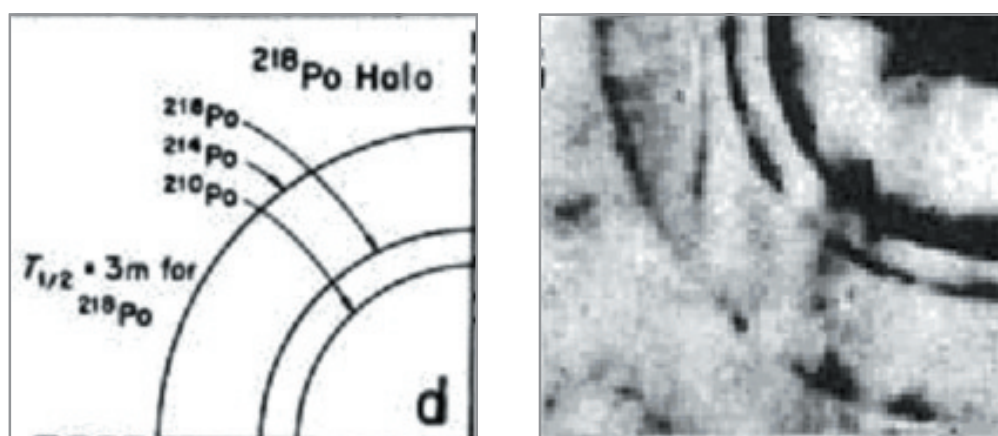
Nogle forskere kan ikke forestille sig denne mineraldannelse på minutter og indvender i stedet at mineralet er dannet langsomt og bagefter har fået en revne. Derefter skulle radongas have undsluppet fra en uran-henfaldskæde i nærheden og hurtigt have bevæget sig igennem revnen, hvorefter radon er henfaldet (Rn-222 med $T_{1/2}=3,824$ døgn er leddet før Po-218 i uran-familien) og danner radiohaloen. Imidlertid har man ikke fundet revner i de nævnte mineraler ind til centrum af radiohaloen. Dermed bliver indvendingen pseudovidenskabelig/uvideenskabelig, og Gentrys arbejde står urokket.

Poloniumhalos er også fundet i biotit (biotite).

E_α -R. Glimmer (mica). Induceret farvning.



Figur 10. Målt haloradius versus α -energi. Lineære regressionsligninger. Glimmer (mica). α -induceret farvning.



Figur 11. Sammenligning mellem α -energi og haloradier (Gentry 1973 ^{5 side 348, figur 1, udsnit}). Mineral: fluorit.

Minihalos og kæmpehalos

Uran- og thorium-halos i glimmer har radius 12-42 μm .

Der findes også radiohaloer med mindre (5-10 μm) eller større radius (fra 42 over ca. 70 til 110 μm) som indikerer mindre eller større α -energi fra henfald. Se figur 12.

Gruppe	Interval for haloradier (μm)	Maximum α -energi (MeV)	Total antal haloer
I	32-35	7,68	22
II	37-43	8,78	274
III	45-48	ca. 9,5	28
IV	50-58	ca. 10,6	130
V	60-67	ca. 11,7	69
VI	70-75	ca. 12,3	58
VII	80-85	ca. 13,2	30
VIII	90-95	ca. 14,1	10
IX	100-110	ca. 15,1	5

Figur 12. Kæmpehalos. (Gentry 1970¹⁰ og¹¹).

Gentrys undersøgelser viser at kæmpehalos forekommer omkring stærkt farvede thoriumhaloer, hvilket indikerer at deres forekomst skal søges deres forklaring i thorium-henfaldskæder. I thorium-familien henfalder Po-212 til Pb-208 med α -henfaldet (99,98%, $E_\alpha = 8,78 \text{ MeV}$, $T_{1/2} = 2,96 \cdot 10^{-7} \text{ sekunder}$), men henfaldet har en sjælden forgrening (0,02%), hvor α -henfaldet har energien 10,55 MeV. Dette kan måske forklare en kæmpehalo ($R \approx \text{ca. } 48 \mu\text{m}$, biotit (biotite)).

Forklaringen på de enkelte mini- og kæmpehaloer kræver nærmere undersøgelser. F.eks. kunne man foreslå et forsøg med kunstig bestråling af biotit med en lille thorium-kilde for at se om man kan danne kæmpehaloer der ligner de naturligt forekommende.

Konklusion

Studiet af radiohalos tyder på at mineraldannelse på minutter har forekommet i Jordens historie. Dermed er radiohalos en dateringsmetode for mineraldannelse som umiddelbart giver et andet billede end det gængse. Studiet af andre dateringsmetoder viser nemlig at der i forskningen er plads til andre tolkninger end de sædvanlige (se bl.a.³).

Der mangler en del arbejde før man kan få alle dateringsmetoder til at stemme overens mht. Jordens og Universets historie, hvis det nogen- sinde lykkes.

I gængs litteratur ser man at de meget anvendte radiometriske dateringsmetoder U-Pb, Th-Pb, Pb-Pb ved datering af det samme mineral generelt ikke stemmer overens. Det samme gælder for mange andre radioaktive dateringsmetoder Rb-Sr, K-Ar og fissionssportælling.

Målinger på uran- og bly-isotoper danner basis for de radioaktive dateringsmetoder: U-Pb metoderne, som er beskrevet sammen med de beslægtede Th-Pb og Pb-Pb metoder i en tidligere artikel³ og⁴. Et afgørende punkt i disse dateringsmetoder er vurderingen af hvor meget af bly-isotoperne der var i forvejen, og som ikke stammer fra henfald af det aktuelle uran-mineral.

De forklaringer man anfører på uoverensstemmelserne er ikke altid gode. Når man har et mineral der både indeholder uran og thorium og kan dateres med alle de 3 metoder, ^{235}U - ^{207}Pb , ^{238}U - ^{206}Pb og ^{232}Th - ^{208}Pb , får man ofte at den første metode giver væsentligt højere alder end den anden, som igen giver væsentligt højere alder end den tredje metode. Som forklaring nævner man så tab af radongas undervejs i mineralets levetid, for det vil påvirke alle tre metoder i forskellig grad. Det er korrekt at et mineral *kan* tabe radongas; men en påstand om at det aktuelle mineral *formentlig* har tabt radongas, kan ikke siges at være velbegrunderet når man ikke har undersøgt om mineralet har sprækker nær uran- og thorium-kornene, eller om det er så lille og formentlig har gennemgået en sådan opvarmning at radontab ser sandsynligt ud. Der skal også være *sandsynliggjort et radontab i det korrekte omfang* hvis det skal være hele forklaringen. – Endelig har man også andre forklaringer til de tilfælde hvor de tre dateringsmetoder varierer i modsat retning. Se litteraturhenvisning³ for en nærmere redegørelse.

Man er derfor nødt til at have et åbent sind over for både de gængse og andre tolkninger hvis man ikke vil gå glip af nogle væsentlige naturvidenskabelige resultater og forklaringsmodeller for Jordens og Universets historie.

Litteraturliste:

¹ Erik Strandgaard Andersen, Paul Jespersgaard, Ove Grønbæk Østergaard: *Databog fysik-kemi*. F & K forlaget, 2. udgave 1. oplag 1981.

² *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 72nd edition 1991-1992. CRC Press, Inc. Editor-in-chief: David R. Lide, Ph. D.

³ Finn Lykke Nielsen: *Radioaktiv datering: Nogle åbne spørgsmål* Origo nr. 62, september 1998, side 23-30.

⁴ er gengivet på internetsiden: <http://www26.brinkster.com/finnln/radioaktivdateringnogleabnesporsmaalorigo.html>

⁵ Robert V. Gentry: *Radioactive halos*. Annual Review of Nuclear Science, bind 23, side 347-362 (1973).

⁶ D. E. Kerr-Lawson. Univ. Toronto Stud. Geol. Ser. 24:54-71 (1927). D. E. Kerr-Lawson. Univ. Toronto Stud. Geol. Ser. 27:15-27 (1928).

⁷ G. H. Henderson m.fl. Proc. Roy. Soc. London Ser. A 145:563-81 (1934). G. H. Henderson m.fl. Proc. Roy. Soc. London Ser. A 145:582-98 (1934). G. H. Henderson m.fl. Proc. Roy. Soc. London Ser. A 158:199-211 (1934).

⁸ A. Schilling. Neues Jahrb. Mineral Abh. A 53:241-65 (1926). (Og ORNL-tr-697).

⁹ C. Mahadevan. Indian J. Phys. 1:445-55 (1927).

¹⁰ Robert V. Gentry: *Giant Radioactive Halos: Indicators of Unknown Alpha-Radioactivity?* Science nr. 169, side 670 (1970).

¹¹ <http://www.halos.com/reports>

¹² Finn Lykke Nielsen: *Radioaktive dateringsmetoder*. Civilingeniørspciale. DTU, Afd. f. Elektrofysik, 1985. I: 80 s.+litteraturlæg: 450 s.+II: 28 s.+litteraturappendix: 92 s.



HUSK**at**

Origos ordbog på skabelse.dk opdateres *også* i forbindelse med nye numre af bladet. Nu også med norske gloser.