

# PÅ SPOR EFTER FORTIDENS ATOMSPALTNINGER

af Henning Bohse

I Varv 1974 nummer 1 blev der kort gennemgået nogle metoder til bestemmelse af en bjergarts indhold af uran og thorium. Disse metoder giver imidlertid kun oplysning om prøvens samlede indhold af disse grundstoffer, men ikke hvor de er placeret i prøven. En metode til at få et tydeligt billede af placeringen - altså i hvilke mineraler, sprækker eller omdannelsesprodukter, uran og thorium befinder sig - er den såkaldte fissions-spor metode, der blev udviklet i midten af 1960'erne af Fleischer, Price og Walker. Metoden er overordentlig følsom, idet man for uran kan bestemme så små mængder som få tiendedele af et milligram pr. ton malm.

I teksten benyttes en del udtryk, hvis betydning fremgår af nedenstående ordliste.

FISSIONSFRAGMENTER: Elektrisk ladede dele af atomkerner.

NEUTRON: Uladet atomkernepartikel.

PROTON: Brintatomets kerne.

ALFA-PARTIKEL: Heliumatomets kerne.

GAMMASTRÅLING: Radioaktiv elektromagnetisk stråling, en form for røntgenstråling, men med kortere bølgelængder.

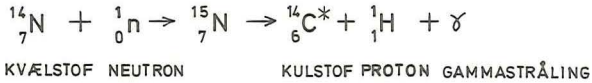
ISOTOPER: Atomkerner med samme atomnummer, altså hørende til samme grundstof, men med forskellig vægt (massetal).

Eksempel kulstof:  ${}^12_6\text{C}$  ,  ${}^{14}_6\text{C}$  (massetal)  
(atomnummer)

Fissions-spor metoden er baseret på, at fissionsfragmenter, som trænger ind i et isolerende materiale, vil afsætte sine spor i dette. Ved ætsning med en passende syre eller base kan sporene gøres større, så de kan ses under et mikroskop som små huller. For at forstå metoden vil vi først se lidt på den fysiske baggrund.

## HVORLEDES DANNES FISSIONSFRAGMENTER

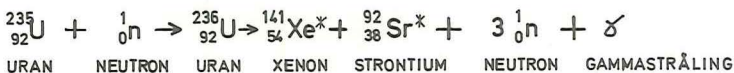
Når et vilkårligt grundstof bombarderes med neutroner, vil der kunne ske flere forskellige atomkerne processer. Lad os se på et eksempel:



En kvælstofatomkerne (Varv 1971, 4) rammes af en neutron, hvorved den energi som neutronen medfører, plus den energi, der frigøres ved dens indfangning, fordeles over hele kvælstofkernen, så denne kommer i stærke svingninger. Kernen kan sammenlignes med en væskedråbe, hvor svingningerne kan betragtes som en slags skvulpen. I denne "anslåede" tilstand forbliver den kun få brøkdele af et sekund, hvorefter noget af den overskydende energi afgives ved udsendelse af en proton. Den resterende del af energien udsendes som gammastråling, samtidig med at der dannes en kulstofisotop med atomvægten 14, som med hensyn til kernesvingningerne befinder sig i normaltilstand. Løvrigt er denne kulstofisotop radioaktiv (angivet ved stjernen) og vil derfor senere henfalde til et stabilt kvælstofatom.

Som eksemplet viser, dannes der en atomkerne med et atomnummer 6, der er én mindre end atomnummeret 7 for den oprindelige kerne. I andre tilfælde afgives overskudsenergien ved udsendelse af en alfa-partikel, hvorved den frembragte atomkerne vil få et atomnummer, der er 2 mindre end den oprindelige kerne. Endelig kendes tilfælde, hvor overskudsenergien afgives ved udsendelse af en eller to neutroner, hvorved atomnummeret forbliver uforandret. Om overskudsenergien frigøres ved udsendelse af en neutron, en proton eller en alfa-partikel, afhænger af, hvilken af disse, der kræver mindst energi for at løsriveres fra den pågældende kerne. En eventuel restenergi kan da udsendes som gammastråling.

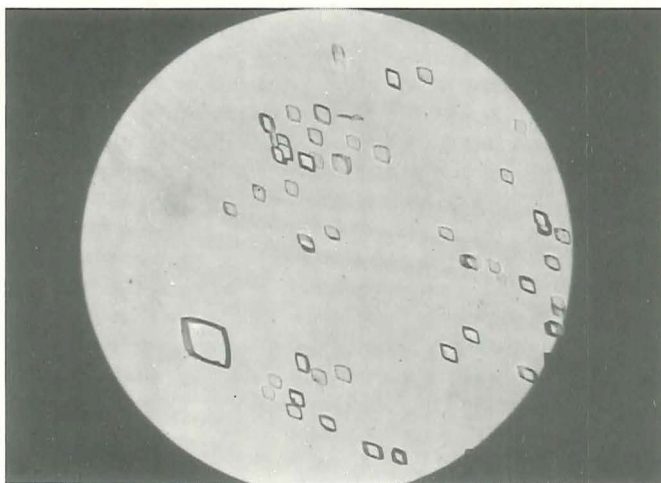
Når det specielt er uran eller thorium, der rammes af neutroner, opstår der en vrimmel af kunstige radioaktive stoffer. Det var derfor længe en gåde, hvad der egentlig foregik. I 1939 viste O.Hafn og F.Strassmann, at de stoffer, der blev dannet, for en stor del var isotoper af grundstoffer med et langt lavere atomnummer end uran og thorium, for eksempel stoffer som strontium og barium. Lad os se på et eksempel blandt mange:



Et uranatom (med vægten 235) indfanger en neutron, hvorved der dannes et nyt uranatom med vægten 236. Dette uranatom er i "anslået" tilstand og spaltes til to atomer - et xenonatom med vægten 141 og et strontiumatom med vægten 92. Ved processen udsendes tre neutroner og yderligere energi i form af radioaktiv stråling - gammastråling.

Her er der ikke tale om en simpel indfangning af neutroner - ved "indfangningen" opstår et ustabilt atom, som siden spaltes i to næsten lige store kernehelvdele under frigørelse af energi. Denne spaltning kaldes fission.

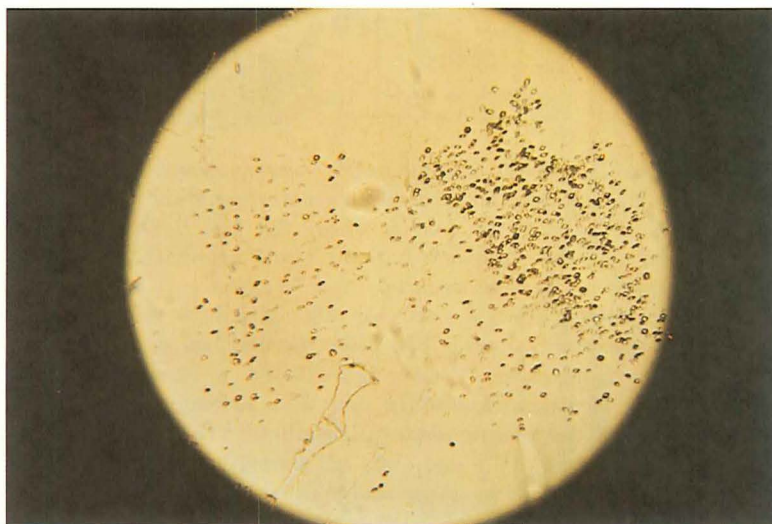
Efter fissionsprocessernes opdagelse var det, ud fra den Bohr'ske atomteori, en forholdsvis let sag at forklare deres mekanisme. Ved så store kerneladninger (uran- og thoriumkerner), som det her drejer sig om, er det muligt, at kernen, under de stærke svingninger der opstår ved neutron-optagelsen, kan deformeres til en langstrakt "form". Den elektriske frastødning mellem de to ender vil få overtaget over sammenhængskraften, så der dannes sig en indsnævring omtrent på midten, hvorefter "væskedråben" deler sig i to, som flyver fra hinanden, drevet af den elektriske frastødning.



Fissions-spør i lys glimmer. Det store spor efter 16 timers, de små efter 10 timers ættsning med flussyre. Diameteren er 0,6 mm.



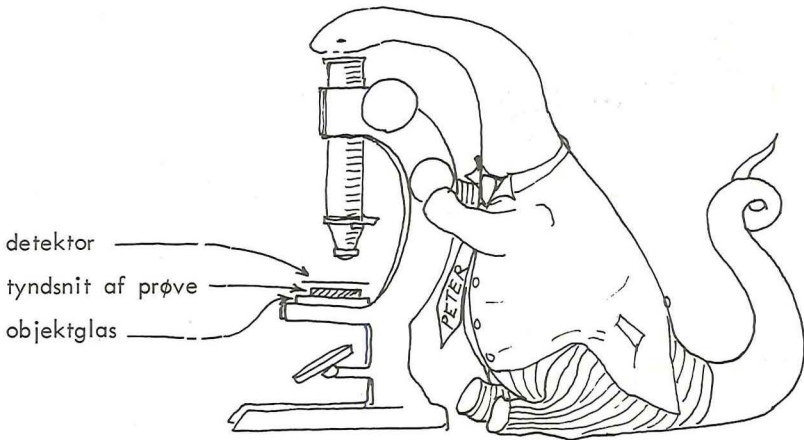
To eudialyt korn, det venstre frisk det højre delvis forvitret. De grønne korn er arvedsonit og det lyse øverst i billedet er feldspatten mikroklin. Diameteren i begge billeder er 1 mm.



Glimmerblad med fissions-spør, svarende til udsnittet ovenfor. I det friske eudialyt korn ses en jævn fordeling af spør, det vil sige, der er en jævn fordeling af uran. I det højre korn ses koncentration af spør og dermed uran i den forvitrede halvdel. I områder med arvedsonit og mikroklin ses ingen spør, det vil sige, disse mineraler indeholder ikke uran.

## URAN BESTEMMELSE

Skal man bestemme uranindholdet i en bjergart eller et mineral ved fissions-spormetoden fremstilles et tyndslib, som er en 0,03 mm tyk plade af prøven limet på et objektglas. Herover placeres en detektor (en slags tæller) af et isolerende materiale for eksempel lys glimmer, plastic eller glas. På Institut for Petrologi, Københavns Universitet har vi benyttet lys glimmer praktisk taget taget fri for uran. Prøverne - normalt op til 10 stk. - stables oven på hinanden sammen med en standard med kendt uranindhold til sammenligning - ligeledes påmonteret lys glimmer.



Hele stabelen bombarderes derefter med neutroner i en reaktor på atomforsøgsstationen Risø. Til uran bestemmelse benyttes langsomme neutroner med lav energi, da det kun er disse, der kan fissionere uran 235. Udfra denne isotop (uran 235) kan prøvens totale uranindhold (uran 235 + uran 238) beregnes - fordi al naturlig uran forekommer i et konstant forhold i naturen, nemlig 99,3 % som uran 238 og 0,7 % som uran 235.

Fissionsprocesser for uran 238 eller thorium kræver hurtige neutroner med store energimængder. Under bestrålingen - normalt mellem 1 og 2 minutter - vil fissionsprodukter fra uran 235 ødelægge krystalstrukturen langs deres bane i det overliggende glimmerblad. Efter opholdet i reaktoren "afkøles" prøven en lille uges tid, så gammastrålingen - fra de ved neutronbestrålingen dannede kunstige radioaktive isotoper - når ned på et ufarligt niveau. Ved ætsning af glimmerbladet med flussyre forstørres fissions-sporene, så de kan ses i et mikroskop. Antallet af fissions-spor i et bestemt areal i glimmeret er et udtryk for koncentrationen af uran i et tilsvarende område i tyndslibet. Ved sammenligning med spørtætheden i standardens glimmerblad er det herefter muligt at beregne prøvens uranindhold.

## THORIUM BESTEMMELSE

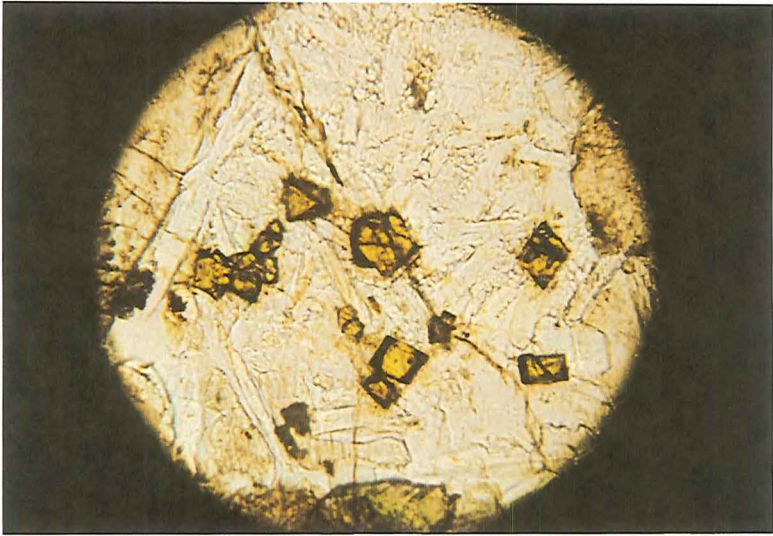
Da næsten alle thorium-holdige mineraler tillige indeholder uran, er det nødvendigt først at bestemme uranindholdet ved hjælp af langsomme neutroner med lav energi. Prøven bliver dernæst sammen med en ny detektor plus en uran- og thorium-standard bestrålet med hurtige højenergi neutroner. De resulterende fissions-spor vil stamme fra uran 238 og thorium 232. Da man i den første bestråling med langsomme neutroner allerede har bestemt prøvens totale uranindhold, er det muligt at bestemme bidraget i fissions-sportætheden fra thorium.

## ALDERSBESTEMMELSER

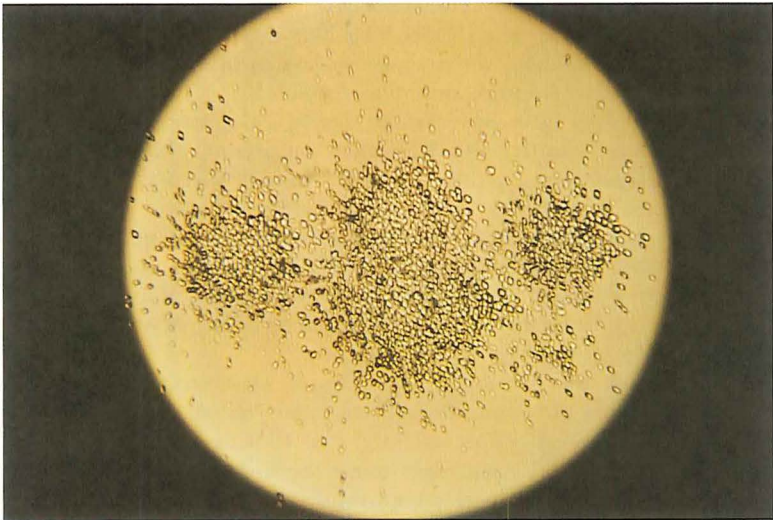
Som vi har set fissionerer uran 238 ved beskydning med hurtige neutroner. Uran 238 vil imidlertid også af sig selv fissionere. Det er denne spontane fission af uran 238, som kan benyttes til aldersbestemmelser ved fissions-spor metoden, fordi fissionen foregår med en konstant hastighed (fissions-henfaldskonstanten =  $6,85 \times 10^{-17}$  år). Da fissionsprodukter ikke alene angriber glimmer, men også selve mineralet, som uranerne sidder i, er det muligt at bestemme sporene efter den spontane fission af uran 238. Disse spor er uhyre små, så for at gøre dem synlige, så de kan tælles i et mikroskop, må man først polere mineralet og dernæst ætse med en passende syre eller base. Da antallet af spontane fissions-spor afhænger af mineralets alder og dets uranindhold, er det muligt, når man kender uranindholdet at bestemme mineralets alder ved hjælp af den spontane fission-henfaldskonstant for uran 238.

Af mineraler, som har vist sig særlig velegnet til denne metode, kan nævnes allanit, apatit, titanit, epidot og granat. Indeholder mineralet blot et milligram uran pr. kg. mineral, er det tilstrækkeligt til at foretage en aldersbestemmelse på bjergarter, der er mere end 500 000 år gamle. Dateringer bestemt ved fissions-spor metoden er i god overensstemmelse med aldre bestemt ved de traditionelle og ofte meget besværlige metoder - for eksempel uran 238  $\rightarrow$  bly ved hjælp af halveringstid (se Varv 1965, 1). I fremtiden vil sikkert flere og flere dateringer blive foretaget på denne hurtige og nemme metode.

På Institut for Petrologi, Københavns Universitet har vi benyttet fissions-spor metoden til uranbestemmelser i det radioaktive mineral steenstrupin og zirconium-mineralet eudialyt fra Ilimaussaq intrusionen i Sydgrønland (Varv 1967, 2). Undersøgelserne har blandt andet vist, at uranindholdet i mineralerne varierer på en regelmæssig måde, når man går fra de ældste til de yngste bjergarter. Vi er derfor nu i stand til at korrelere (aldersmæssigt sidestille) bjergarter som ligger mange kilometer fra hinanden indenfor intrusionen og ligeledes afgøre hvorfra i lagfølgen løse blokke stammer.



Cirka 0,1 mm store gule korn af mineralet thorit omgivet af albit. Diameteren i begge billeder er 1 mm.



Glimmerblad svarende til billedet ovenfor. Man ser tydeligt, at uran er koncentreret i thorit mineralet, hvorimod albit (en feldspat) er uranfri.

*Flemming Bohse*