



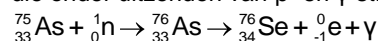
## Achtergrondinformatie

### Neutronen-activeringsanalyse

Door bestraling met neutronen kan men de meeste elementen omzetten in radioactieve nucliden. Met gamma-spectrometrie kan men daarna de ontstane radioactieve nucliden identificeren – zie de pagina [Gamma-spectrometrie](#). Op deze manier zijn verontreinigingen in een groot aantal stoffen aan te tonen. Daarbij kan het gaan om sporen van schadelijke metalen als kwik, cadmium en lood in bijvoorbeeld voedsel en water. Of om het bepalen van de zuiverheid van silicium in de halfgeleider- en glasvezelindustrie. Of om het opsporen van vervalste schilderijen. We noemen deze methode de *neutronen-activeringsanalyse*.

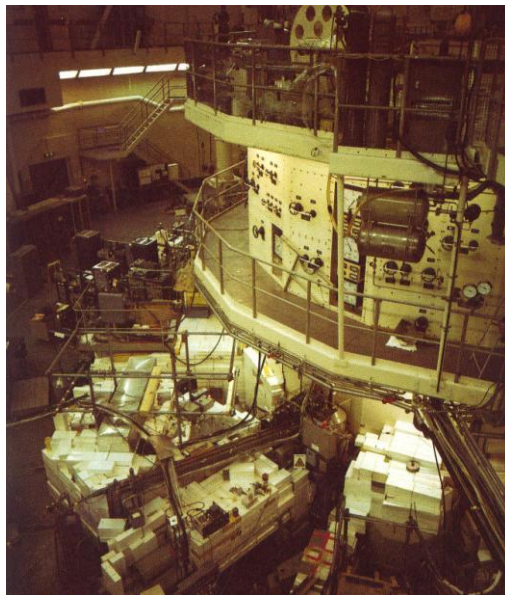
### Activering

Een voorbeeld is de activering van de stabiele arsenicumisotoop  $^{75}\text{As}$ . Als deze isotoop bij bestraling met neutronen een neutron invangt, ontstaat de instabiele arsenicumisotoop  $^{76}\text{As}$  die onder uitzenden van  $\beta$ - en  $\gamma$ -straling vervalst tot de stabiele seleniumisotoop  $^{76}\text{Se}$ :



Aan de te meten halveringstijd van het verval en aan het te meten spectrum van de uitgezonden  $\gamma$ -straling is te zien dat het geactiveerde nuclide arsenicum is. Op deze manier is te achterhalen of een monster – bijvoorbeeld een menselijke haar – arsenicum bevat. En het is zelfs mogelijk om het arsenicumgehalte in het monster te bepalen.

Voor het uitvoeren van neutronen-activeringsanalyse is een neutronenbron nodig om het monster te bestralen. Zo'n neutronenbron is bijvoorbeeld een kernreactor (zie figuur 1). Een andere mogelijkheid is het gebruik van de californiumisotoop  $^{252}\text{Cf}$ . Voor het grootste deel vervalst deze isotoop onder uitzending van  $\alpha$ -straling. Maar in 3% van de gevallen treedt spontane splijting van de californiumkern op. Bij die splijting ontstaan twee brokstukken (de splijtingsproducten) en gemiddeld bijna vier neutronen. Daardoor is  $^{252}\text{Cf}$  bruikbaar als neutronenbron.



Figuur 1 – In een kernreactor komt bij de splijting van de uraniumisotoop  $^{235}\text{U}$  energie vrij. Die energie wordt gebruikt voor de productie van elektriciteit. Bij elke splijting van een uraniumkern ontstaan naast de brokstukken (de splijtingsproducten) ook enkele 'losse' neutronen. In een kernreactor voor elektriciteitsproductie worden deze neutronen gebruikt om nieuwe splijtingen te veroorzaken. In een onderzoeksreactor gebruikt men deze neutronen voor onder andere neutronen-activeringsanalyse.

### Toepassingen

Zoals bij alle andere eigenschappen van ioniserende straling heeft ook de neutronen-activeringsanalyse medische, industriële en wetenschappelijke toepassingen.

**Milieuverontreiniging** – De neutronen-activeringsanalyse speelt een belangrijke rol bij het opsporen en kwantitatief bepalen van schadelijke verontreinigingen die door menselijke activiteiten in het milieu worden gebracht. Een voorbeeld is de lozing van kwik in zee door een Japans chemisch bedrijf in de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw. Het kwik kwam via de voedselketen in de vis terecht. Door het eten van deze vis vielen in het nabijgelegen vissersdorp Minamata duizenden slachtoffers. In latere jaren zijn ook de perioden van massale zeehondensterfte in de Waddenzee toegeschreven aan kwikvergiftiging. Het in de

Rijn geloosde kwik zou via zeestromingen in de Waddenzee terecht gekomen zijn. De doodsoorzaak kon toen echter niet met zekerheid worden vastgesteld.

Stabiel kwik is een mengsel van isotopen met de massagetalen 196, 198, 199, 200, 201, 202 en 204. Na de bestraling met neutronen is de  $\gamma$ -straling waarop de activeringsanalyse berust afkomstig van de kwikisotopen  $^{197}\text{Hg}$  ( $t_{1/2}$  65 uur,  $\gamma$ -straling 0,077 MeV) en  $^{203}\text{Hg}$  ( $t_{1/2}$  46,9 dag,  $\gamma$ -straling 0,279 MeV). Onder gunstige omstandigheden zijn nog hoeveelheden van  $10^{-12}$  g kwik per gram weefsel aan te tonen.

**Gebrek aan sporenelementen** – Kwik is al in zeer kleine concentraties schadelijk voor de gezondheid. Hetzelfde geldt voor metalen als cadmium en lood. Maar een aantal andere zware metalen (naast lichte als natrium, kalium, magnesium en calcium) is juist onmisbaar in ons lichaam. Het gaat hierbij om kleine hoeveelheden mangaan, ijzer, kobalt, koper, zink en molybdeen. Vanwege de kleine hoeveelheden noemen we dit de *sporenelementen*. Een voorbeeld is ijzer, dat slechts 0,005 % van ons lichaamsgewicht uitmaakt. Ruim tweederde van dit ijzer zit in de hemoglobine van de rode bloedcellen, waar het een rol speelt bij het transport van zuurstof door het lichaam. De andere lichte metalen zijn nodig voor de werking van bijvoorbeeld enzymen. Een gebrek aan één of meer van deze sporenelementen leidt tot onder andere afwijkingen van de bloedvaten en huid- en darmziekten. Onderzoek van menselijk weefsel met neutronen-activeringsanalyse kan een gebrek aan deze sporenelementen vaststellen.

**Zuiverheid van grondstoffen** – In de halfgeleider- en glasvezelindustrie is de zuiverheid van de gebruikte grondstoffen belangrijk. Voor de productie van chips met geïntegreerde schakelingen is zeer zuiver silicium nodig. Bij de productie van glasvezels mag het glas slechts een zeer kleine hoeveelheid verontreinigingen bevatten, omdat anders de absorptie van het licht te groot is. In beide gevallen wordt het gehalte aan ongewenste zware metalen in verschillende stadia van het productieproces door activeringsanalyse bepaald.

**Archeologie** – Kleisoorten afkomstig uit verschillende streken vertonen bij activeringsanalyse uiteenlopende gehalten van sporenelementen zoals scandium, chroom, kobalt, cesium en hafnium. Van antiek aardewerk en kleitabletten zijn de gehalten van dezelfde sporenelementen op dezelfde manier te bepalen. In sommige gevallen is het daardoor mogelijk om de geografische herkomst ervan te achterhalen (zie figuur 2). Ook vervalsingen kan men langs deze weg opsporen.



Figuur 2 – Twee kolossale beelden bij Thebe in Opper-Egypte. Met neutronen-activeringsanalyse is aangetoond dat de 700 ton zware steenblokken waaruit de beelden zijn opgebouwd uit steengroeven bij Memphis in Neder-Egypte komen. Ze moeten over een afstand van bijna 600 km Nijloopwaarts zijn vervoerd.



Figuur 3 – Uit een bepaling van het zilvergehalte van het door schilders gebruikte loodwit met neutronen-activeringsanalyse is vast te stellen of het schilderij voor of na 1850 is gemaakt.

**Kunstwerken** – Door de samenstelling van de verf te bepalen is enkele malen aangetoond dat een 'eeuwenoud' schilderij een vervalsing was. Men maakt dan onder andere gebruik van het feit dat het sinds de Middeleeuwen gebruikte pigment loodwit ( $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ) door betere raffinagetechnieken tegenwoordig veel minder zilver bevat dan vroeger. Met neutronen-activeringsanalyse is het zilvergehalte van het loodwit te bepalen. En dat maakt het mogelijk om iets te zeggen over het tijdvak waarin het schilderij is gemaakt. Onderzoek van de verf van schilderijen met een bekende en onomstreden ouderdom heeft laten zien dat na 1850 het zilvergehalte van het loodwit duidelijk lager is dan daarvoor. Bij een zilvergehalte van meer dan 15 ppm (parts per million) is het schilderij voor 1850 gemaakt, bij

minder dan 10 ppm daarna. Voor een dergelijk onderzoek is slechts een zeer kleine hoeveelheid verf van het schilderij nodig: 1 mg is ruim voldoende.

**Bron**

- Fast, J.D. (1980), *Energie uit atoomkernen*. Maastricht: Natuur & Techniek.