

Basisprincipes van stralingsbescherming

Bescherming tegen externe straling

Credits: The Society for Radiological Protection (<https://www.srp-uk.org>)

Checklist voor de leerkracht

Doelpubliek

Leerlingen in wetenschappen/STEM van de derde graad

Format activiteit

interactieve klasactiviteit als deel van een les of samenvatting

Tijdsduur

15 minuten

Leerdoelen

Na het volgen van deze lesactiviteit is de leerling in staat om:

- Visueel de basisprincipes te illustreren hoe straling afkomstig van radioactieve bronnen (alfa, beta en mogelijks gamma) in interactie gaat met materialen
- Kritisch te denken over de gebruikte materialen die werden voorgesteld aan hen

Benodigd materiaal en ruimte

- Grote ruimte waarbij de leerlingen op een lijn of in een halve cirkel kunnen staan (bv. sporthal)
- Grote opblaasbare gym bal
- Zak met kleinere plastic ballen



Activiteit

Vraag de leerlingen om ongeveer 1 meter van elkaar te staan, op een lijn of in een halve cirkel. Het idee is dat de leerlingen de kern voorstellen van atomen waaruit een materiaal bestaat: zij vormen het 'levend model' van een helium atoom. Geef elke leerling twee ballen. Deze ballen stellen de elektronen voor die rond de kern draaien om elektrisch neutrale atomen te vormen. Om de continue beweging voor te stellen van de elektronen moedig je de leerlingen aan om zo goed mogelijk te jongleren. Een kleine wedstrijd kan zich ontplooiën tussen leerlingen die hun jongleerkunsten willen tonen. De meeste leerlingen zullen maximaal 2 ballen tegelijk kunnen hanteren.

De uitdaging voor de leerlingen bestaat erin om hun elektronen bij te houden wanneer ze worden gebombardeerd met straling – gesimuleerd door de gymbal en meer plastic ballen.

Er zijn verschillende mogelijkheden voor herziening en linken met andere delen van de wetenschaps cursus, en ook mogelijkheden voor de leerlingen om dit model kritisch te bekijken. Enkele ideeën worden gegeven in bijlage van dit document.

Alfa deeltjes

De leerkracht of een geschikte vrijwilliger kan het effect van alfa deeltjes simuleren door (voorzichtig) de jongleurs vooraan in de groep aan te raken met de gymbal. Door de grote afmetingen van de bal zal het zeer waarschijnlijk zijn dat het een doel zal raken en hierdoor de elektronen zal 'loskoppelen' van de jongleur. De leerlingen (atomen) zullen hierdoor hun hoop verliezen om hun ballen (elektronen) bij te kunnen houden. De gymbal is zeer effectief in het 'ioniseren' van de leerlingen door zijn grote afmetingen. Op atomaire en sub-atomaire schaal wordt de doorsnede van de alfapartikels minder belangrijk omdat de afstand groot is genoeg ten opzichte van de Coulomb kracht. De alfadeeltjes interageren het sterkst met atomaire elektronen door hun grote elektrische lading en relatief trage snelheid. Deze activiteit bekrachtigt dat alfadeeltjes de grootste dichtheid van ionisaties veroorzaken door sterk te reageren met vele atomaire elektronen.

Beta deeltjes

Om betadeeltjes te simuleren worden nu de nadere ballen gebruikt als projectiel. Met enige voorzichtigheid kan een vrijwilliger deze tegen de jonglerende leerlingen gooien met als doel de ballen in het jongleerspel los te maken. Zorg dat de ballen licht zijn (bvb. Spons ballen of plastic ballen) en dat de leerlingen brillen etc. verwijderen. Zorg dat de ballen voorzichtig worden gegooid. Door de veel kleinere afmetingen van de projectielen zal de kans op interactie met één van de atomaire elektronen veel kleiner zijn, waardoor de projectielen veel verder zullen reiken. De gelijke afmetingen tussen de projectielelektronen en de doelwitelektronen herinnert de leerlingen eraan dat de betadeeltjes eigenlijk hetzelfde zijn als elektronen. Opnieuw zal de fysieke afmeting minder belangrijk zijn, gelijkaardig aan de alfadeeltjes, maar door de kleinere afmeting en de hogere snelheid zullen de betadeeltjes minder sterk interageren met de materie in vergelijking met de alfadeeltjes.

Gammastraling

De leerlingen zouden vertrouwd moeten zijn met gammastraling als hoogenergetische elektromagnetische straling met korte golflengtes – een soort licht. Gammastraling zijn het meest doordringende van de drie grote types straling, en hebben de laagste dichtheid in ionisaties.

Men kan betwisten dat bovenstaande eenvoudige model waarbij interacties van geladen deeltjes worden gedemonstreerd, onvoldoende de volledige complexiteit van gamma interacties weergeeft. De individuele foton-eigenschappen van gammastraling kunnen niet worden weergegeven, en dit geeft de aanleiding voor leerlingen om na te denken over de beperkingen van dit model. Het licht passeert de jongleurs zonder interactie met de ballen. Het verstrooiende effect van de zaklampen kan de jongleurs ertoe brengen dat ze de ballen laten vallen (en aldus het effect van ionisatie simuleren). Het licht passeert zonder in interactie te gaan met de ballen.

De wetenschap

De volledige uiteenzetting hoe ioniserende straling reageert met materie is zeer complex. Voor een begrijpbaar overzicht van de theorie met weinig wiskundige benaderingen zie Liley [1]. De gemeenschappelijke van alle types van ioniserende straling afkomstig van radioactief verval is dat zij ontstaat vanuit de kern van een atoom en vooral in interactie gaat met atomaire elektronen waarbij uiteindelijk ionisaties en excitaties worden gevormd. Deze twee reacties staan dan ook centraal in alle aspecten van detectie en meting van straling. Bovendien is het ioniserend karakter van een type straling bepalend hoe schadelijk het is voor het lichaam: stralings-geïnduceerde ionisatie in biologisch belangrijke materialen kunnen een complexe reeks chemische reacties starten die uiteindelijk leiden tot biologische verstoring en ziekte. Op dezelfde manier is het ioniserend karakter van straling belangrijk bij het gebruik in medische toepassingen, zoals radiotherapie waar kankercellen worden vernietigd.

Geladen deeltjes (alfa en beta) exciteren atomaire elektronen via de elektrostatische kracht (Coulomb kracht). De hoeveelheid van interactie met elk individueel atomaire elektron, en dus de capaciteit van straling om te ioniseren, hangt af van twee grote factoren:

- De elektrische lading van het deeltje – hoe groter de lading, hoe groter de aantrekkings- of afstotingskracht die inwerkt op atomaire elektronen voor een gegeven afstand
- De snelheid waarmee het deeltje vliegt. Hoe trager de snelheid, hoe groter de tijd waarbij een deeltje een atoom passeert – dus hoe groter de *impuls* (gemiddelde kracht x tijd) wordt gevoeld door de atomaire elektronen. In andere woorden zal het dus minder waarschijnlijk zijn voor een snel deeltje om dichtbij te zijn voor voldoende lange tijd om excitatie of ionisatie te veroorzaken.

De ionisatie dichtheid (aantal ionisaties geproduceerd per lengte-eenheid) resulterend van de passage van geladen deeltjes hangt ook af van de eigenschappen van het materiaal. Een dichts materiaal met hoge Z waarde zoals lood zal een hogere dichtheid hebben van 'doelwit' elektronen, en zal een hoge *stopping power* hebben, en uiteraard een hoge ionisatie dichtheid.

Alfa deeltjes, met een niet-afgeschermd lading van $+2e$ veroorzaken de hoogste ionisatie dichtheid en zijn daarom de minst doordringende van de grootste types van ioniserende straling. Voor de typische energieën waarmee alfa deeltjes worden uitgezonden (enkele MeV) zal hun snelheid laag genoeg zijn dat er voldoende tijd is om met atomaire elektronen te reageren. Het alfadeeltje is veel passiever dan een elektron; er moeten dus vele botsingen plaatsvinden vooraleer het projectiel tot stilstand wordt gebracht. Elke botsing zal maar een kleine hoeveelheid kinetische energie uitwisselen. In enkele materialen kan een alfadeeltje in interactie gaan met miljoenen individuele elektronen vooraleer het tot rust komt en elektrisch geneutraliseerd wordt – maar dit op zeer korte afstand.

De fysica over hoe **beta deeltjes** reageren is identiek aan alfa deeltjes. Hoewel: het beta deeltje is enkelvoudig geladen, en wordt doorgaans met veel grotere snelheid uitgezonden dan alfa deeltjes vanwege zijn kleinere massa. Als gevolg zal de interactie van beta deeltjes met materie veel zwakker zijn: de kans dat een beta deeltje een individueel atoom op zijn traject zal ioniseren is veel lager. Wanneer het beta deeltje toch in interactie gaat met een atomaire elektron zal door een gelijkheid in massa een significante fractie van de kinetische (en mogelijks alle) energie worden uitgewisseld. Een kleiner aantal botsingen die minder waarschijnlijk zijn brengen het beta deeltje tot rust.

Gamma straling zijn hoogenergetische elektromagnetische straling, fotonen, afkomstig van nucleaire transitie, met golflengtes gelijkaardig aan de afmetingen van de atoomkern. **Interacties van gammastraling met materie zijn complexer dan het proces van de elektrostatische (Coulomb) kracht bij geladen deeltjes.** Voor gammastralen zijn er drie processen waarbij de initiële energie kan worden overgedragen, namelijk *foto-elektrische absorptie*, *compton verstrooiing* en voor voldoende energetische fotonen de *elektron-positron paar productie*. Het voorkomen van elke reactie hangt van de energie van de gammastraling af en het materiaal waarop de straling invalt. Net zoals verschillende andere interactie processen vormt ionisatie door gammastraling een passend voorbeeld van dualiteit van golf en deeltje; het is redelijk te denken dat gammastraling zich voortbeweegt als golven, maar wanneer een interactie plaatsvindt is dit een gelokaliseerd proces en hierbij wordt het deeltjeskarakter van de straling onthuld. Gammastraling vormen de meest doordringende van de voornaamste types van ioniserende straling omdat de interactie met individuele atomen met een zeer lage kans plaatsvindt. Het heeft dan ook de kleinste ionisatiedichtheid.

Leerlingen worden verwacht om een idee te hebben van de verschillende doordringingsvermogens van ioniserende straling. Ze dienen bekend te zijn met het idee dat een paar cm lucht of een blad papier voldoende zijn om alfastraling volledig tegen te houden, waarbij beta deeltjes aluminium van een aantal mm dikte kan doordringen. Aan de andere kant dient men voor gammastraling over verschillende cm lood (of ander equivalent materiaal met dezelfde dichtheid) te beschikken om dit effectief tegen te houden.

