

Basisprincipes van stralingsbescherming

Bescherming tegen externe straling

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

Doelpubliek

Leerlingen in wetenschappen/STEM van de derde graad

Format activiteit

interactieve klasactiviteit als deel van een les of samenvatting

Tijdsduur

30 minuten

Leerdoelen

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

- Tijd, afstand, afscherming als de belangrijkste principes te identificeren voor de bescherming tegen externe straling
- De effecten van een wijziging in blootstellingstijd, afstand tot de bron en afscherming van de bron te beschrijven in relatie tot de opgelopen dosis

Benodigd materiaal en ruimte

- Grote ruimte (bvb sporthal)
- Speelgoedwapen dat meerdere patronen achter elkaar kan vuren (ideaal 15-20 zonder herlading, bvb Nerf Dart Tag)
- Pijltjes met velcro tip
- Velcro vest
- Veiligheidsbril (x 2)
- Kartonnen bord met 21 grote gaten (80 mm diameter)
- Kartonnen bord met 42 kleine gaten (40 mm diameter) - optioneel
- Kartonnen bord met 21 kleine gaten (40 mm diameter)
- Stopwatch
- (Papieren) plakband

Checklist
voor de
leerkracht



Actie leerkracht	Actie leerling
<p>Herinner de leerlingen dat x-stralentoestellen en sommige radioactieve bronnen ioniserende straling uitzenden die ver kan doordringen in materialen en weefsels, waarbij ze schade kunnen veroorzaken. Verklaar de leerdoelen van deze activiteit.</p> <p>Leg uit dat het pijltjesgeweer een bron van ioniserende straling voorstelt en dat de pijltje de uitgezonden straling of deeltjes zijn. Het idee is om te simuleren hoe we de hoeveelheid straling kunnen verminderen die een persoon zal raken.</p> <p>Kies 1 leerling die de schutter zal zijn, en 1 die als doelwit zal fungeren.</p>	<p>(voor elk van de experimenten)</p> <p>Beide leerlingen zetten een veiligheidsbril op (persoonlijke beschermingsmiddelen – PBM zijn zeer belangrijk wanneer men werkt met straling!) en het doelwit dient een velcro vest aan te trekken.</p> <p>De schutter schiet alle pijltjes in het geweer naar het doelwit om zoveel mogelijk pijltjes op het velcro vest te krijgen.</p> <p>Zodra alle pijltjes zijn afgevuurd kunnen de andere leerlingen het aantal geraakte pijltjes tellen en het resultaat noteren.</p>
<p>Afstand experiment</p> <p>Leg uit dat ze gaan onderzoeken wat het effect van de afstand tussen de bron en het doelwit zal hebben. Meet en markeer een afstand van 5 meter tussen de schutter en het doelwit. Vertel dat enkel de pijltjes die op het velcro vest belanden tellen.</p> <p>Herorganiseer de opstelling zodat er kan worden herladen en opnieuw kan worden geschoten op een afstand van 10 meter van het doelwit.</p> <p>Vraag de leerlingen om na te denken over wat er gebeurd is met het aantal 'stralen' dat het doelwit heeft geraakt wanneer de afstand werd vergroot en hoe deze waarneming gebruikt kan worden wanneer men echt met radioactief materiaal zou werken.</p> <p>Voor een voldoende aantal willekeurig afgeschoten pijltjes kan een verband van inverse kwadraat worden waargenomen. In dit experiment is de schutter intelligent en zal deze bewust op het doelwit mikken natuurlijk. Een graad van willekeurigheid kan worden geïntroduceerd wanneer de schutter wordt geblinddoekt.</p>	
<p>Tijd experiment</p> <p>Indien gewenst kan een nieuwe schutter en een nieuw doelwit gekozen worden.</p> <p>Leg uit dat ze nu het effect van de blootstellingstijd gaan onderzoeken. Vertel aan de schutter dat ze 20 seconden krijgen om het doelwit te raken.</p> <p>Duidt een andere leerling aan om de stopwatch te bedienen en een signaal te geven wanneer de tijd verstreken is.</p> <p>Herorganiseer de opstelling zodat kan worden herladen en vertel dat deze keer de schutter maar 10 seconden krijgt en herhaal het experiment.</p>	

<p>Vraag de leerlingen wat er gebeurd is met het aantal pijltjes dat het doelwit heeft geraakt wanneer de blootstellingstijd werd verminderd en hoe deze bevinding kan gebruikt worden wanneer wordt gewerkt met echte radioactieve materialen.</p>	
<p>Afscherming experiment Indien nodig, kies een nieuwe schutter en doelwit.</p> <p>Verklaar dat ze nu gaan onderzoeken wat het effect is van verschillende soorten afscherming tussen de schutter en het doelwit. Geef het doelwit de afscherming met de grootste gaten.</p> <p>Herorganiseer de opstelling zodat kan worden herladen. Verwissel de afscherming met deze met middelgrote gaten (indien beschikbaar) en herhaal het experiment.</p> <p>Tenslotte, herorganiseer zodat kan worden herladen en verwissel de afscherming met deze met de kleinste gaten en herhaal het experiment.</p> <p>Vraag de studenten wat er gebeurd is met het aantal pijltjes wanneer een verschillende afscherming werd gebruikt. Vraag wat de verschillende types afscherming voorstellen.</p>	
<p>Deze demonstraties kunnen gevolgd worden door een voorbeeld/video van een echte radioactieve bron die wordt afgeschermd door verschillende materialen (bvb. Een gammabron afgeschermd met papier, aluminium en lood).</p>	

De wetenschap

De drie basisprincipes in stralingsbescherming kunnen als volgt worden samengevat:

- **tijd** – men dient de tijd in de buurt van een stralingsbron zo beperkt mogelijk te houden
- **afstand** – men dient de afstand tussen het individu en de stralingsbron zo groot mogelijk te houden
- **afscherming** – een aangepaste barrière dient geplaatst te worden tussen het individu en de stralingsbron

Het minimaliseren van de tijd in aanwezigheid van een stralingsbron is een evidente manier om de blootstelling te beperken. Echter, een eenvoudige uiteenzetting van de fysica over afstand en afscherming wordt hieronder weergegeven.

Afstand tot de bron: de inverse kwadratenwet

Radioactieve materialen zenden gewoonlijk straling uit naar alle richtingen. Indien de uitgezonden ioniserende straling van het type gamma straling is, kan het met weinig attenuatie doorheen lucht reizen. Daarom kan de gamma straling van hoogactieve bronnen op honderden meters afstand worden gemeten, en kunnen deze een blootstellingsrisico inhouden voor personen die zich dichtbij de bron bevinden. Merk op dat de gamma-bronnen gebruikt voor detectie oefeningen geen hoge activiteiten bevatten en dus een laag risico inhouden: deze zijn nauwelijks detecteerbaar op meer dan enkele meters afstand.

Men kan verwachten dat de intensiteit van de straling zal dalen met toenemende afstand tot de bron. In vele omstandigheden kan een *geometrie van een sfeer* worden verondersteld, wat het makkelijk maakt om de relatie tussen de intensiteit van de straling (en dus dosis tempo) en de afstand tot de bron te bepalen. Geometrie van een sfeer betekent dat een bron kan beschouwd worden als een punt in de ruimte, met geen vorm of volume. Deze veronderstelling werkt goed wanneer de afstand tot de bron veel groter is dan de afmetingen van de bron zelf. Gezien straling wordt uitgezonden in alle richtingen zal de intensiteit van de straling op een zekere afstand de *inverse kwadraat wet* volgen. Dit betekent dat de intensiteit daalt met inverse proportie in verhouding met het kwadraat van de afstand, oftewel indien je twee keer zoveel afstand neemt tot de bron, de intensiteit zal dalen met een factor $2^2 = 4$. Verdrievoudig je de afstand, dan zal de intensiteit met factor 9 dalen, enz.

Op elke afstand r van de puntbron zal de straling worden verspreid over een oppervlakte van een sfeer van $4\pi r^2$. Indien het tempo van foton emissie van de puntbron P fotonen s^{-1} , en de intensiteit ϕ (het tempo van fotonen dat door een oppervlakte gaat loodrecht ten opzichte van de richting van fotonen) op een afstand r is $\phi = \frac{P}{4\pi r^2}$ waar ϕ wordt uitgedrukt in fotonen m^{-2} . Als alternatief, gezien voor een zekere stralingsbron het tempo van foton emissie van een puntbron proportioneel is met de uitgezonden kracht, kan P uitgedrukt worden in watt en ϕ in Wm^{-2} .

Voor de praktische proef met het pijltjesgeweer dient te worden geobserveerd dat minder pijltjes het doel raken wanneer het verder wegstaat en feitelijk willekeurig worden geschoten in plaats van gemikt. De inverse kwadratenwet zou ongeveer moeten gevolgd worden, waarbij het de moeite kan zijn om dit te proberen met een meer vaardige groep. Een graad van willekeurigheid in alle richtingen kan gesimuleerd worden met het pijltjesgeweer door de schutter een blinddoek te geven om het doelwit te raken.

Afscherming

Voor een (zeer) vereenvoudigde versie van hoe ioniserende straling reageert met materie, en als interactieve sessie in de klas, zie bijvoorbeeld P. Sapple (2015) en de referenties [1]. Gammastraling zijn hoog energetische elektromagnetische straling afkomstig van veranderingen in de atoomkern, met golflengtes vergelijkbaar met de afmetingen van de kern. Interacties van gammastralen in materie zijn meer complex dan de eenvoudige Coulombkrachten voor geladen deeltjes. Voor gammastraling zijn er drie hoofdzakelijke processen waarbij de initiële energie kan worden overgedragen namelijk, het *foto-elektrisch effect*, *Compton verstrooiing* en voor voldoende energetische fotonen: elektron-positron *paar productie*. De relatieve belangrijkheid van elk proces hangt af van de energie van de gammastraling en het materiaal wat bestraald wordt.

Deze processen verwijderen uiteindelijk de fotonen van de initiële gammaflux doorheen een gegeven materiaal. Gammastraling zijn de meest doordringende van de drie types straling omdat de interactie met individuele atomen een lage probabiteit kent. De kans dat een gammafoton met een individuele atoom in interactie gaat via een eerder vermeld proces wordt uitgedrukt door de *interactie cross sectie*. De cross sectie 's' is een oppervlaktedimensie. Men kan zich inbeelden dat elk atoom een schijfvormig gebied presenteert aan de gammaflux – indien het traject van het foton de schijf kruist zal er een interactie plaatsvinden. Natuurlijk, dergelijke geometrische manier van denken is niet helemaal realistisch gezien deze processen kwantum mechanisch werken met een zekere kansberekening in plaats van klassieke botsingen. Maar het model van de schijf is nuttig als model. De cross sectie is afhankelijk van het type materiaal en de energie van de invallende fotonen. Algemeen zullen hogere atomaire massa atomen (hoge Z) met grote aantallen elektronen een grotere cross sectie hebben.

De eenvoudigste (macroscopische) situatie welke wiskundig kan worden beschreven is deze van een uniforme mono-energetische stralingsbundel die invalt op een target (in deze context een afscherming). De intensiteit van de bundel I nadat de straling doorheen een materiaal gaat met dikte x wordt weergegeven door de formule:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

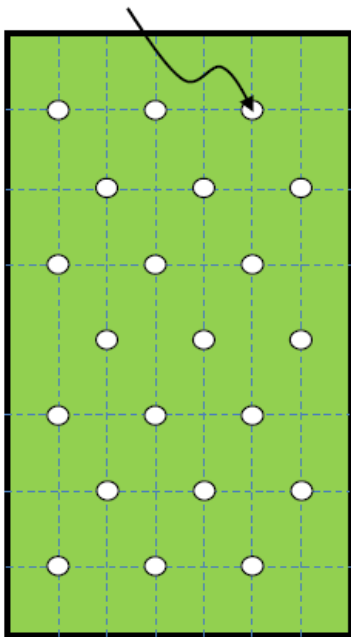
Waar I_0 de intensiteit van de stralingsbundel voorstelt die invalt op de afscherming, en μ de *lineaire attenuatie coëfficiënt*. De lineaire attenuatie coëfficiënt is een specifieke eigenschap voor een materiaal en houdt uiteindelijk verband met s (i.e. de atomaire eigenschappen van het materiaal), en de massa densiteit (hogere densiteit betekent meer atomen waarmee in interactie kan worden gegaan). Algemeen zal een hoge Z en hoge densiteit materiaal zoals lood een hoge μ waarde hebben. Zoals vermeld zijn de relatieve bijdragen van elk van de interactie processen energieafhankelijk, wat betekent dat de totale attenuatie coëfficiënt wordt gedefinieerd door de foton energie.

De drie vormen afscherming die worden beschreven in de volgende sectie stellen twee verschillende types attenuatiemateriaal voor, zoals bijvoorbeeld beton en lood. De diameter van de gaten stellen s voor (kleinere gaten betekent minder doordringdiepte). De groene (1) en gele (2) afscherming zijn van hetzelfde basismateriaal omdat ze dezelfde afmetingen van de gaten hebben. De groene versie stelt een densere vorm van het materiaal voor omdat het minder gaten heeft om de pijltjes door te laten en meer 'hout' om de pijltjes te stoppen. Bijvoorbeeld: beton kan gemaakt worden in verschillende densiteiten door het materiaal te compacteren. Verschillende densiteiten van beton zullen dezelfde cross sectie hebben (zelfde materiaal), maar verschillende lineaire attenuatiecoëfficiënten door de verschillende densiteiten. De rode afscherming bestaat uit verschillend (minder attenuerend) materiaal omdat het grotere gaten heeft om meer pijltjes (fotonen) door te laten.

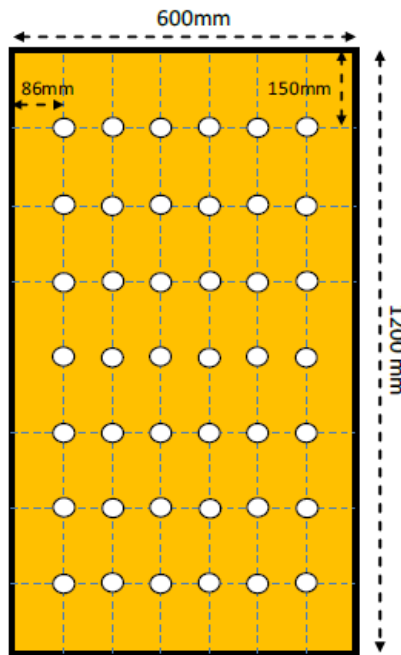
Verschillende materialen hebben verschillende massa attenuatie coëfficiënten en deze factor wijzigt ook met de energie van de straling. Het effect is eenvoudigweg dat sommige materialen meer straling zullen reduceren dan andere en daarom een betere afscherming voorstellen. 30 mm lood zal bijvoorbeeld gammastraling van Cobalt-60 (een veelgebruikte radioactieve bron) reduceren tot 50%, terwijl 30 mm staal de straling slechts met 10% zal reduceren. Voor de praktische proef met de pijltjesgeweren zal het materiaal met de grootstel gaten een gegeven dikte van een slechte gamma-afscherming zoals aluminium. Het materiaal met de kleinste gaten stelt een dikkere versie van hetzelfde materiaal voor, of dezelfde dikte van een goede gamma-afscherming zoals lood.

BIJLAGE 1: design van de afscherming

Kleine gaten
Geverfde multiplex
(40 mm diameter)

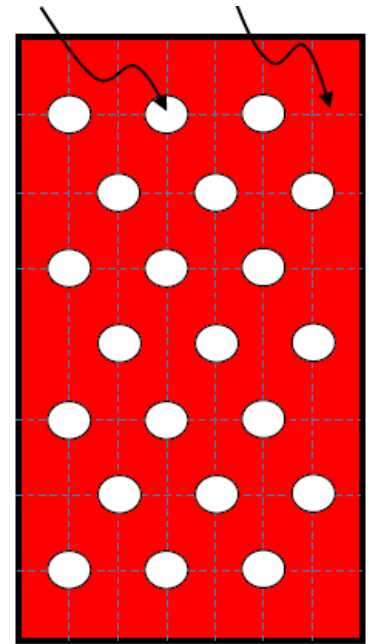


afscherming A1 (factor 1)



afscherming A2 (factor 1/2)

Grote gaten
(80 mm diameter)



afscherming A3 (factor 1/4)

Vergelijking afscherming A1 tot A2 demonstreert de 'fysieke dichtheid' (A2 heeft twee keer zoveel gaten als A1 en alle gaten hebben dezelfde afmeting, dus A2 stelt half zoveel afscherming voor).

Vergelijking A1 tot A3 demonstreert de 'interactie cross sectie' (A1 en A3 hebben hetzelfde aantal gaten, maar de gaten van A3 zijn twee keer zo groot in diameter dus stellen ze 4 keer minder afscherming voor).

Ervaring leert dat multiplex gemakkelijk materiaal blijkt te zijn om mee te werken (in termen van het boren van de gaten).

