

Onderzoek verval ^{22}Na

Bert Depoorter, Ruben Van der Borght

5 december 2021

1 Inleiding

In dit onderzoek zal worden onderzocht welke straling er vrijkomt bij het verval van ^{22}Na door het effect van verschillende media op de straling te observeren. Daarvoor wordt eerst de grootte van de achtergrondstraling I_A gemeten zodat die in rekening kan gebracht worden. Daarna wordt gecontroleerd of de kwadratenwet voor stralingsintensiteit effectief geldt.

2 Materialen

Voor alle proeven wordt gebruik gemaakt van een ^{22}Na -bron die te zien valt op Figuur 1. Het radio-actieve monster ligt 8 mm achter het venster van de bron en dat venster zit 1 mm diep in de staaf. [1] Er wordt aangenomen dat de intensiteit I van deze bron constant blijft tijdens de experimenten.

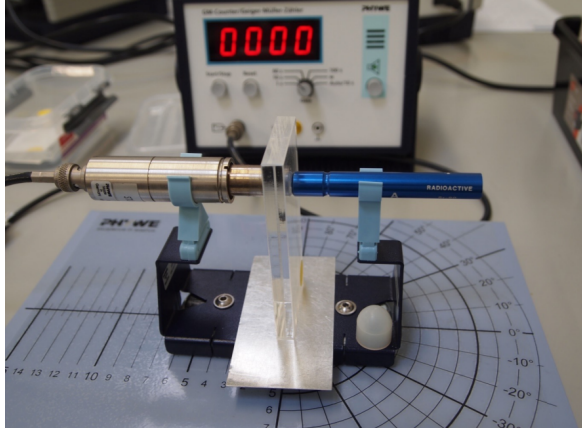
De α -deeltjes, β -deeltjes en γ -straling worden gemeten in de Geiger-Müller (GM) telbuis. Die zendt een puls naar de teller telkens wanneer één van deze drie wordt waargenomen. Voor de fout op de tellingen wordt verondersteld dat de statistische fout veel groter is dan de resolutie van de GM telbuis. Bovendien vindt de ionistie gemiddeld 9 mm in de telbuis plaats. [1]

Om het medium te variëren bij de identificatieproef worden de volgende materialen gebruikt:

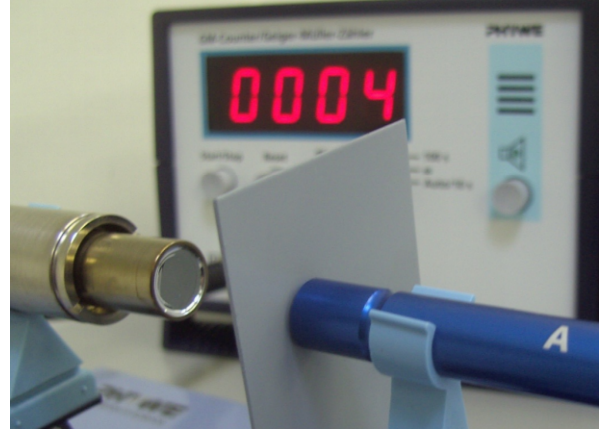
- 1 plaatje uit plexiglas met een breedte van 1 cm;
- 4 plaatjes uit aluminium met een breedte van 1 mm;
- 4 plaatjes uit lood met een breedte van 1 mm;
- papierfolie;
- papier.

Er wordt verondersteld dat de onzekerheid op de breedte van de media verwaarloosbaar is.

Voor de afstandproef wordt de afstand tussen de bron en de GM telbuis gemeten met een meetlat waarop de houders van bron en telbuis met een magneet zijn bevestigd. De resolutie van de lat is $\Delta = 1$ mm. Aangezien de bron of GM teller mogelijks niet perfect uitgelijnd is met het voetpunt, wordt $\Delta_{sys} = 4$ mm genomen.



(a)



(b)

Figuur 1: De meetapparatuur voor de experimenten. Figuur 1a [2] toont de proefopstelling van de afstandspreef. Links op de figuur is een GM telbuis bevestigd op een statief en de teller staat vanachter op de afbeelding. Rechts valt de ^{22}Na -bron te zien. De twee worden gescheiden door een plaatje van plexiglas dat 1 cm dik is. Met de opstelling van Figuur 1b [2] wordt het type straling bij het ^{22}Na -verval bepaald. Tussen de bron en de GM telbuis bevindt zich een loden plaatje van 1 mm dikte.

3 Methoden en Resultaten

3.1 De grootte van de achtergrondstraling I_A

Als eerste wordt de gemiddelde grootte $I_{A,g}$ van de achtergrondstraling gemeten. Tijdens deze meting blijven alle bronnen in de container zodat deze geen invloed kunnen uitoefenen. De meetresultaten staan opgelijst in Tabel 1. Omdat het aantal vervallen per seconde Poisson verdeeld is, zal het gemiddelde $I_{A,g} = (0.48 \pm 0.08)$ (1σ -fout) bedragen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van $\sigma = \sqrt{\frac{I_{A,g}}{N}}$. [3]

Tabel 1: Gemeten waarden voor de achtergrondstraling I_A . Er is geen onzekerheid gegeven omdat er wordt aangenomen dat de statistische fout groter is dan de systematische fout.

$I_A[\text{Bq}]$
0.1
0.3
0.9
0.6
0.2
0.6
0.5
0.4
0.5
0.8
0.4

3.2 Identificatie van straling bij ^{22}Na -verval

De GM teller en de bron worden met behulp van het plaatje uit plexiglas op een afstand van 1 cm van elkaar geplaatst. Vervolgens worden er zeven metingen uitgevoerd met als middenstoffen: lucht (l), papierfolie (f), papier (p), aluminium van 1 mm breed (Al1), lood van 1 mm breed (Pb1), aluminium van 4 mm breed (Al4) en lood van 4 mm breed (Pb4). In Tabel 2 zijn de resultaten te vinden. Vervolgens wordt het gemiddelde van de gemeten waarden bepaald. De 1σ -fout wordt dan gegeven door $\sigma = \sqrt{\frac{I}{N}}$ met $N = 5$.

3.3 De kwadratenwet voor stralingsintensiteit

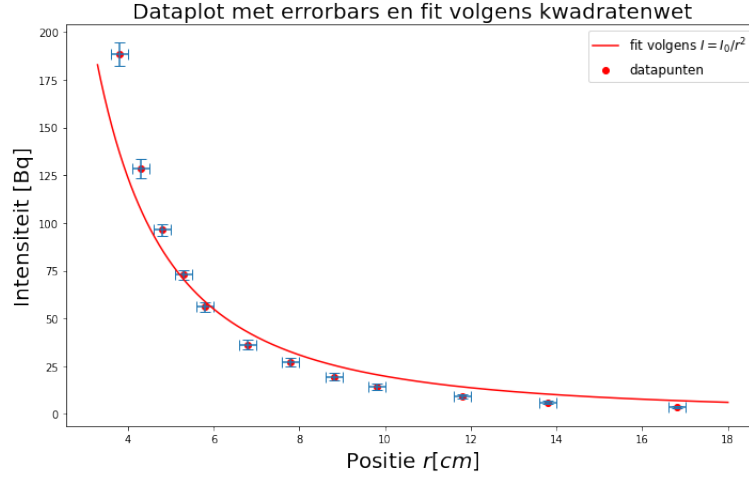
Bij dit experiment wordt de intensiteit I op enkele afstanden r tussen de bron en de telbuis gemeten. De afstand wordt afgelezen op de meetlat waarop de houders bevestigd zijn, zoals op Figuur 1a te zien is. Bovendien wordt bij elke r nog 18 mm geteld omdat het ^{22}Na niet aan het uiteinde van de bron zit en de telling niet vanvoor op de telbuis plaatsvindt (zie paragraaf 2). Verder wordt de gemiddelde achtergrondstraling $I_{A,g}$ van de straling afgetrokken. Op Figuur 2 zijn de datapunten en een fit aan deze punten afgebeeld. Het gebruikte model voor de fit is

$$I = \frac{I_0}{r^2}. \quad (1)$$

Als teststatistiek voor dit model wordt de χ^2 -kwadraatteststatistiek gebruikt. Deze test geeft een indicatie hoe goed een bepaalde fit juist is, op voorwaarde dat de observaties allemaal onafhankelijk gebeurden. Dit is het geval bij de verzamelde metingen. Als best aansluitende parameterwaarde voor I_0 vindt dit model $I_0 = (1980 \pm 30) \text{ Bq} \cdot \text{cm}^2$. De p -waarde die bij de geoptimaliseerde fit hoort is $p = 0.0002$.

Tabel 2: De meetresultaten van de identificatieproef. Bij elke intensiteit is het medium in de index gegeven. Alle waarden in de tabel zijn gegeven in Bq. In de onderste rij staat het gemiddelde van de intensiteiten in die kolom met 1σ -fout.

	I_l	I_f	I_p	I_{Al1}	I_{Pb1}	I_{Al4}	I_{Pb4}
	461.1	448.6	284.4	35.2	37.9	27.8	23.1
	452.0	443.0	276.7	34.0	37.3	29.6	24.6
	463.1	443.6	280.7	35.3	35.7	30.7	22.5
	455.5	443.8	278.3	29.4	40.2	31.5	23.5
	452.9	439.1	275.6	32.6	39.2	28.4	23.8
gem.	457 ± 10	444 ± 9	279 ± 7	33 ± 3	38 ± 3	30 ± 2	24 ± 2

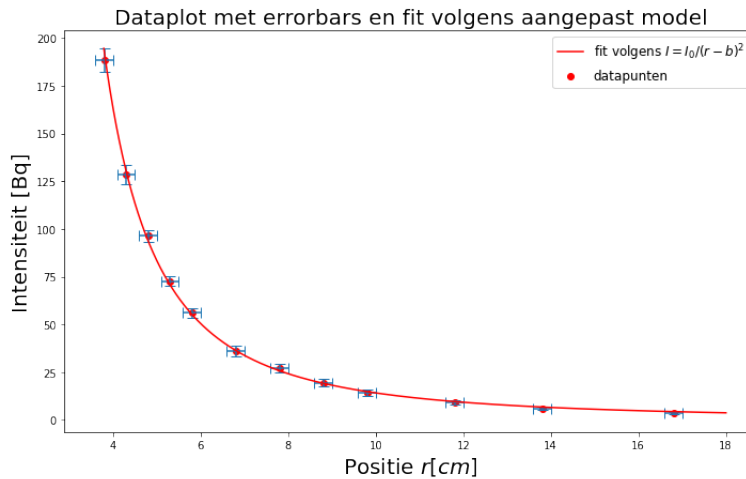


Figuur 2: Op deze figuur zijn zowel de datapunten met hun errorbars als de fit van het model $I = \frac{I_0}{r^2}$ geplot. De p-waarde bij deze fit is $p = 0.0002$. De χ_{red}^2 -waarde die bij dit model hoort is 3.17.

Omdat de p-waarde vrij laag is en de χ_{red}^2 -waarde vrij hoog ($\chi_{red}^2 = 3.17$), is er verder gezocht naar mogelijke verklaringen om dit te verbeteren. Zo werd de data onderworpen aan het volgende aangepaste model

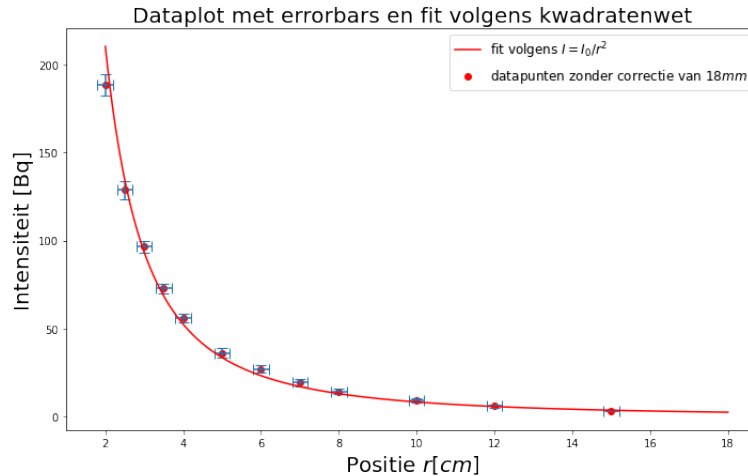
$$I = \frac{I_0}{(r - b)^2}.$$

Dit model houdt rekening met een mogelijke systematische fout op r . De gevolgen van het invoeren van de extra term b worden in de discussie verder besproken. Aan de hand van dit model krijgt men de best aansluitende fit zoals die te zien is in Figuur 3. Voor deze fit zijn de parameters $I_0 = (1030 \pm 20) \text{ Bq} \cdot \text{cm}^2$ en $b = (1.49 \pm 0.04) \text{ cm}$. De p-waarde die bij dit aangepaste model hoort is $p = 0.999$. De χ_0^2 -waarde is bij deze fit veel kleiner, namelijk 0.064.



Figuur 3: Op deze figuur zijn zowel de datapunten met hun errorbars als de fit van het model $I = \frac{I_0}{(r-b)^2}$ geplot. De p-waarde bij dit aangepaste model is $p = 0.999$. De χ_{red}^2 -waarde bij dit model is 0.064

Bij Figuur 2 is zoals in de gegevens vermeld staat telkens 18 mm bijgeteld bij de waarden voor de afstand. [1] Wanneer het inverse kwadratische model gefit wordt aan de data zonder deze correctie, krijgt men de fit zoals in Figuur 4. Hier is de gevonden waarde voor $I_0 = (840 \pm 13) \text{ Bq} \cdot \text{cm}^2$. De p-waarde horende bij dit model is $p = 0.954$ en de χ^2_{red} -waarde is 0.414.



Figuur 4: Op deze figuur staan de datapunten zonder de correctie van 18 mm weergegeven met het gefitte model $I = \frac{I_0}{r^2}$. De p-waarde die bij deze fit hoort is $p = 0.954$. De gevonden χ^2_{red} -waarde is 0.414.

4 Discussie van de resultaten

Nu worden de resultaten kritisch bekeken en zoekt men eventuele verklaringen voor mogelijke inconsequenties tussen data en verwachting.

4.1 Grootte van de achtergrondstraling

De achtergrondstraling op aarde bevat onder andere ioniserende straling, waarvan een groot deel gestopt wordt door de atmosfeer. [4] Toch is er een kleine fractie van die straling die niet verdwijnt. Deze wordt gemeten en er worden realistische waarden waargenomen: de gemiddelde waarde is $(0.48 \pm 0.08) \text{ Bq}$. Dit is in lijn met de literatuurwaarden. [5]

4.2 Identificatie van straling bij ^{22}Na

Uit Tabel 2 blijkt dat de papierfolie nauwelijks effect heeft op de ioniserende straling. De straling zal dus zeker niet bestaan uit α -deeltjes.

Verder houdt het plaatje aluminium van 1 mm breed een groot deel van de straling niet tegen. Bovendien is ook de 4 mm brede aluminiumlaag niet voldoende om alle straling te stoppen, zodat de straling ook niet alleen β^+ - of β^- -deeltjes bevat. Er wordt echter wel een daling in het aantal tellingen waargenomen, waardoor het aannemelijk is dat er toch een bepaalde hoeveelheid β^+ - of β^- -vervallen optreden. Als ^{22}Na -verval β^+ -verval is, wordt er bij het vervallen van een nucleus een positron geproduceerd. Omdat er niet in vacuüm gewerkt wordt, is de kans groot dat dit positron botst met een elektron en annihileert binnen een afstand korter dan de afstand tussen telbuis en radioactieve bron ^{22}Na . Bij dergelijke annihilaties komen er twee fotonen vrij, ofwel γ -straling. [6]

Het is dus mogelijk dat de waargenomen γ -straling niet afkomstig is van γ -verval, maar door annihilatie na een β^+ -verval. Omdat er een daling waargenomen wordt bij een laag aluminium van 1 mm, wordt dit als meest waarschijnlijke verklaring aangenomen.

Wanneer er loden plaatjes tussen de bron en telbuis worden geplaatst, is te zien dat I afneemt als er meer loden plaatjes tussen geplaatst worden. Dat impliceert dat er zeker γ -straling vrijkomt. De α - en β -deeltje worden door één loden plaatje namelijk volledig gestopt. Zoals hierboven vermeld zijn er aanwijzingen dat een deel van deze γ -straling afkomstig is van β^+ -verval.

4.3 Nagaan van de kwadratenwet

Bij een kwalitatieve analyse van de resultaten is direct te zien dat het aantal tellingen per seconde, dus de intensiteit, afneemt wanneer de afstand tot de telbuis groter wordt. Nu wordt gekeken naar de kwantitatieve analyse van de gemeten waarden. Op Figuur 2 is te zien dat de fit niet goed aansluit op de datapunten. Dat is ook te zien in de p-waarde. Deze is heel laag, namelijk $p = 0.0002$. Er is dus gezocht naar een verklaring, waarbij voornamelijk naar de afstandsmeting gekeken wordt. De GM teller registreert de metingen namelijk zeer precies, terwijl bij de afstandsmeting de bron mogelijk niet exact was uitgelijnd met de houder die de positie aangeeft.

Daarom is geopteerd om een correctie door te voeren op de afstand, namelijk r vervangen door $r - b$ en dan te zoeken wat het de invloed van de grootte van b is op de kwaliteit van de fit. Het resulterende model is te zien op Figuur 3. Hier wordt b geschat op $b = (1.49 \pm 0.04)$ cm. In dat geval wordt de onzekerheid op de afstand eigenlijk 'weggefit' en moeten we spreken van een overfit. Dat valt ook af te leiden uit de p-waarde, die $p = 0.999$ is. Het model is namelijk zodanig aangepast aan de data dat het model alle datapunten snijdt, wat niet de bedoeling is. Hieruit wordt afgeleid dat de reden voor de lage fitkwaliteit voornamelijk bij de afstandsmeting gezocht moet worden.

Ten slotte is er nog een derde fit gemaakt, namelijk zonder de correctie van 18 mm op de afstand. Deze is te zien in Figuur 4. Voor dit model is $p = 0.954$ en $\chi^2_{red} = 0.414$. Beide waarden liggen tussen het slecht aansluitende model en het overfitte model in. Dit doet vermoeden dat er ergens nog een correctiefactor op de afstand meegenomen moet worden, door een systematische afwijking. Een mogelijke oorzaak is een slechte uitlijning tussen bron resp. telbuis en de voet van de klem van de bron resp. telbuis.

In het algemeen wordt besloten dat de kwadratenwet voor straling gerespecteerd wordt door de radioactieve bron ^{22}Na . Er zijn sterke aanwijzingen dat er een fout gemaakt is bij het meten van de afstand van de telbuis tot de bron.

5 Conclusie

De straling die vrijkomt bij het ^{22}Na -verval bestaat uit β^+ -deeltjes en γ -straling. Verder bedraagt de gemiddelde grootte van de achtergrondstraling $I_{A,g}$ (0.48 ± 0.08) Bq. Ten slotte blijkt de kwadratenwet voor stralingsintensiteit te gelden.

Referenties

- [1] Stralingsintensiteit en afstand. Experimentele basistechnieken in de natuurkunde G0P32A. KU Leuven; 2021.
- [2] Gevorderde proeven:kernfysicalab. Experimentele basistechnieken in de natuurkunde G0P32A. KU Leuven; 2021.
- [3] Verdonck T. Statistiek I G0U47A; 2020.
- [4] Wikipedia. Achtergrondstraling; 2019. Geraadpleegd op 5 december 2021 via <https://nl.wikipedia.org/wiki/Achtergrondstraling>.
- [5] US Nuclear Regulatory Commission. What is a Geiger counter?; 2020. Geraadpleegd op 5 december 2021 via <https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/science-101/what-is-a-geiger-counter.html>.
- [6] Giancoli D. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. 4th ed. Essex: Pearson Education Ltd; 2014.