



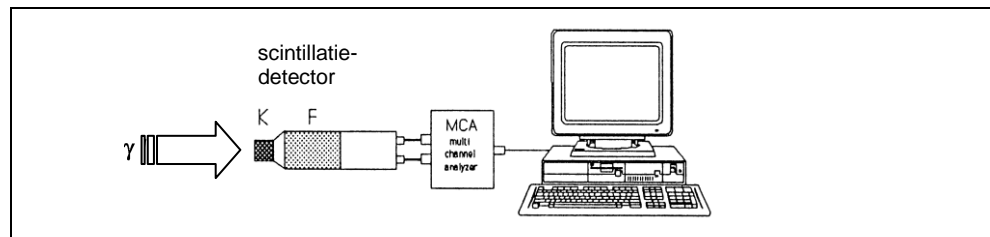
Achtergrondinformatie

Experiment 17
Gamma-spectrometrie

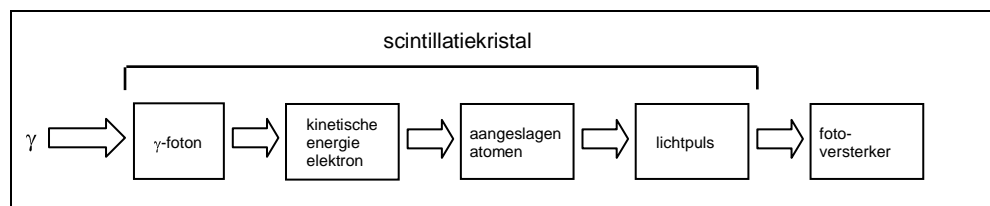
Scintillatiedetector

Voor de detectie van γ -straling bij gamma-spectroscopie gebruiken we een *scintillatie-detector*, via een *Multi Channel Analyser* gekoppeld aan een computer. Deze detector bestaat uit een scintillatiekristal en een fotoversterker, aangegeven met de letters K en F in figuur 1.

Het blokschema van figuur 2 geeft weer wat er in het scintillatiekristal gebeurt na het binnendringen van een γ -foton.



Figuur 1 – Meetopstelling.

Figuur 2 – Energie-omzettingen in het scintillatiekristal bij detectie van een γ -foton.

Het binnengedrongen γ -foton verliest geleidelijk zijn energie door botsingen met elektronen in het kristal. Deze verliezen op hun beurt hun (toegenomen) kinetische energie door het aanslaan van atomen in het kristal. Bij terugval naar hun grondtoestand zenden deze atomen fotonen uit met een energie in het zichtbare gedeelte van het elektromagnetisch spectrum. Zo leidt het binnendringen van een γ -foton tot een lichtpuls in het kristal.

De fotoversterker zet deze lichtpuls om in een spanningspuls en versterkt deze tegelijkertijd met ruwweg een factor 10^6 . Daarbij is de hoogte van de spanningspuls (het aantal mV) recht evenredig met de oorspronkelijke energie E_i van het γ -foton.

Absorptie

De absorptie van γ -straling is iets ingewikkelder dan hierboven schematisch is weergegeven. Er kunnen drie verschillende processen optreden: het *foto-elektrisch effect*, *comptonverstrooiing* en *paarvorming*.

Foto-elektrisch effect – Hierbij maakt een γ -foton een elektron vrij uit de buitenste schil van een atoom. De energie van het γ -foton wordt gebruikt om het elektron los te maken uit haar schil, en de rest van de energie wordt aan het elektron als kinetische energie meegegeven.

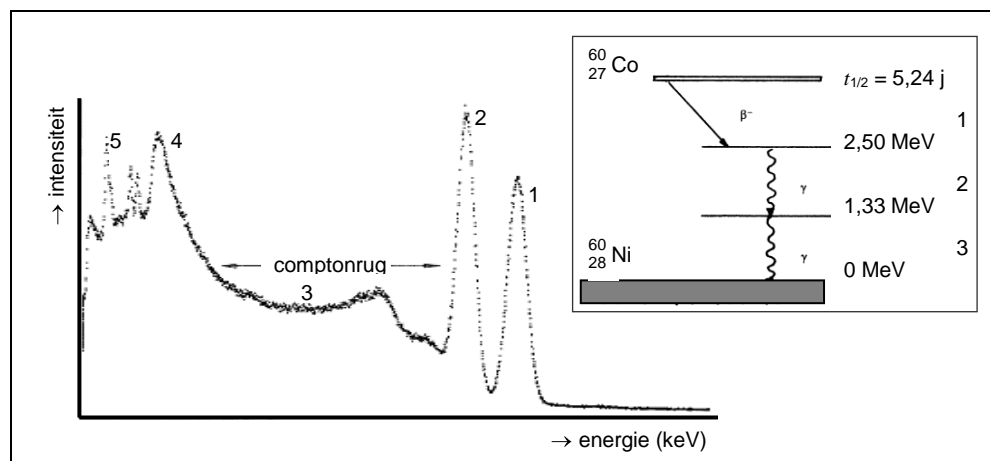
Comptonverstrooiing – Als een γ -foton tegen een niet of nauwelijks gebonden elektron botst, draagt het foton – net als bij een elastische botsing – energie over aan het elektron. De rest van de energie van het γ -foton kan dan bijvoorbeeld weer volgens de eerste methode (het foto-elektrisch effect) worden geabsorbeerd.

Paarvorming – Als een γ -foton in wisselwerking treedt met de kern van een atoom, kan de foton-energie worden omgezet in een elektron (e^-) en een positron (e^+). We noemen dit proces *paarvorming*. De rustenergie ($E = m \cdot c^2$) van een elektron – en dus ook van het even zware positron – is 510 keV. Dit proces van paarvorming kan dus alleen plaatsvinden als de energie van het γ -foton groter is dan $2 \cdot 510 \text{ keV} = 1,02 \text{ MeV}$. De rest van de energie van het foton wordt aan de beide deeltjes als kinetische energie meegegeven. Het positron zal slechts zeer kort bestaan: als het een (ander) elektron tegenkomt, verdwijnen beide deeltjes doordat ze hun massa omzetten in de energie van twee, in tegengestelde richting

bewegende γ -fotonen van elk 510 keV. We noemen dit proces *annihilatie*. Deze twee γ -fotonen kunnen op hun beurt weer op de twee hierboven genoemde manieren worden geabsorbeerd.

Gamma-spectrum

Als gevolg van de bovengenoemde absorptieprocessen ontstaat in het scintillatiekristal een groot aantal γ -fotonen met allerlei verschillende waarden van de foton-energie. De scintillatiedetector levert dan een groot aantal spanningpulsen, waarvan de hoogte evenredig is met de foton-energie. Deze pulsen worden in de computer geselecteerd naar spanningsgrootte met behulp van een MCA (Multi Channel Analyser). Deze MCA bezit 1024 kanalen. Elk kanaal is gevoelig voor een bepaald klein spanningsgebied (en dus energiegebied). Het gehele gamma-spectrum wordt zo in 1024 gelijke stukken opgedeeld. Hoe groter de foton-energie van het γ -foton is, des te hoger is de veroorzaakte spanningpuls en des te groter is het kanaalnummer waarin de MCA deze puls telt. Op het beeldscherm van de computer staan de kanalen van links naar rechts oplopend uitgezet in de horizontale richting. Het aantal getelde spanningpulsen in elk van de kanalen staat verticaal. Zo ontstaat een gamma-spectrum als dat van figuur 3, met horizontaal de foton-energie en verticaal de intensiteit.



Figuur 3 – Voorbeeld van een gamma-spectrum (kobalt-60).

Het gamma-spectrum van figuur 3 is afkomstig van een bron met kobalt-60. Uit het verval-schema van deze isotoop (weergegeven als onderdeel van figuur 3) is af te leiden dat er γ -fotonen worden uitgezonden met een foton-energie van 1,17 en 1,33 MeV. De verwachting is dan dat er in het gamma-spectrum slechts twee pieken zichtbaar zijn. Maar dat blijkt niet het geval: het spectrum bestaat uit twee *fotopieken*, een *comptonrug*, een *terugstrooipiek* en een *loodpiek*.

Fotopieken – De karakteristieke fotopieken van ^{60}Co liggen bij 1332 keV (piek 1) en 1173 keV (piek 2).

Comptonrug – De comptonrug (3) ontstaat doordat sommige fotonen een deel van hun energie door botsing overdragen aan vrije elektronen in het scintillatiekristal van de detector. De overgedragen energie kan elke waarde bezitten tussen nul en een zeker maximum. Dat verklaart dan ook de breedte van de comptonrug.

Terugstrooipiek – De terugstrooipiek (4) ontstaat doordat in het materiaal dat het scintillatiekristal van de detector omringt ook comptonverstrooiing optreedt. Nadat deze fotonen daarbij een deel van hun energie hebben overgedragen, komen ze door terugstrooiing weer in het scintillatiekristal terecht.

Loodpiek – De loodpiek (5) bij 75 keV is röntgenstraling, afkomstig van het loden omhulsel van de bron. Een door ^{60}Co uitgezonden foton kan een elektron vrijmaken uit de K-schil van een loodatoom. Het opgevallen 'gat' wordt gevuld met een elektron uit de L-schil of de M-schil. De daarbij vrijkomende energie wordt uitgezonden als een röntgenfoton, dat door het scintillatiekristal wordt gedetecteerd.