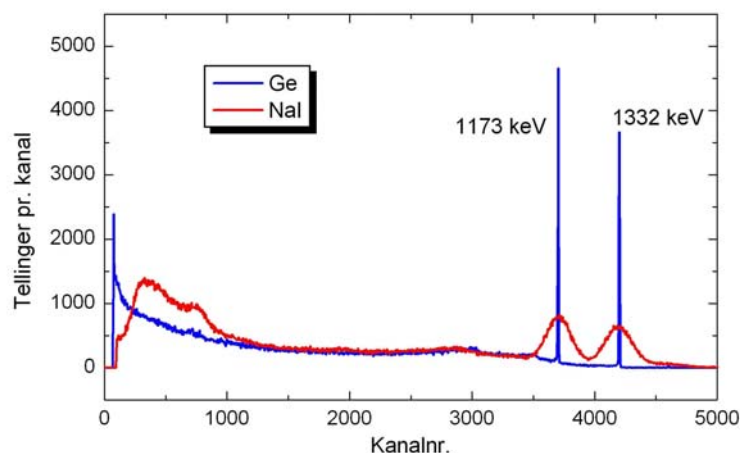


KJM5920 Oppgave 2: Germanium detektor γ -spektroskopi

Hensikt

Energien til γ -stråler skal måles med en super-ren germanium (high-purity germanium HPGe) og/eller litiumdriftede Ge(Li) detektorer og høykvalitets elektronikk. Teorien bak responsfunksjonen til slike detektorer vil bli forklart og praktiske målinger utført.



Figur 1 Sammenligning mellom ^{60}Co spektra fra en germanium og en NaI(Tl) detektor.

primært de statistiske fluktasjonene i antall fotoelektroner som produseres på fotokatodeoverflaten i PM-røret (PM eller PMT kommer fra det engelske navnet Photo Multiplier Tube). Tabell 1 illustrere denne energiavhengigheten til en typisk NaI(Tl) detektor.

Germanium halvlederdetektorer har totalt revolusjonert γ -spektroskopi. Figur 1 illustrerer den slående kontrasten mellom de to detektortypene. Oppløsningen forbedrer seg med omtrent en faktor 30. Som et resultat av dette har man kunnet kartlegge et stort antall energinivåer i de fleste kjerner som det før var umulig å se med NaI(Tl) detektorer.

Vi skal nå studere en del av egenskapene til germaniumdetektorer. For å få fullt utbytte av dette er det viktig at du kan teorien for hvordan γ -stråling absorberes i materie (detektorkrystallet). Dette vil ikke bli gjennomgått i denne oppgaveteksten.

Introduksjon

En viktig kvalitet ved et γ -spektrum er evnen til å skille individuelle linjer i spektret. Et kvalitativt mål på dette er γ -linjenes bredde, vi måler som regel linjens bredde midt på "toppen" - dette kaller vi FWHM (Full Width at Half Maximum). Toppbredde til topp-energi forholdet til en vanlig NaI(Tl) scintillasjonsdetektor er $\sim 7\%$ for 661 keV γ -linjen fra ^{137}Cs . For NaI(Tl) detektorer er dette forholdet sterkt avhengig av γ -kvantets energi og skyldes

Nuklide:	E_γ (keV):	Oppløsning (%):
^{166}Ho	81	16.19
^{177}Lu	113	13.5
^{133}Te	159	11.5
^{177}Lu	208	10.9
^{203}Hg	279	10.14
^{51}Cr	320	9.89
^{198}Au	411	9.21
^7Be	478	8.62
^{137}Cs	661	7.7
^{54}Mn	835	7.26
^{207}Bi	1067	6.56
^{65}Zn	1114	6.29
^{22}Na	1277	6.07
^{88}Y	1850	5.45

Tabell 1 Typisk oppløsning for en NaI(Tl) scintillasjonsdetektor.

Øvelse 1: Oppkobling

Du skal lære å koble sammen et komplett spektroskopisystem. Vær imidlertid oppmerksom på at du bruker meget kostbart utstyr, spør heller en gang til hvis du er usikker på hva du skal gjøre! *Spesielt skal du være forsiktig når du setter på høyspenningen til detektoren - ikke gjør dette uten at veileder er til stede!*

Oppgave

Koble opp utstyret. Veileder vil forklare hvordan du skal koble sammen utstyret og hjelpe deg å velge riktige elektronikkbokser, kabler, osv. Følg hele tiden signalene med et oscilloskop, og lag nøyaktige plott av hvordan signalene ser ut fra de forskjellige utgangene. Plottene skal inngå i labjournalen. Still inn hensiktsmessig "shaping-time" og "pole-zero", samt velg en passende forsterkning (ca. 0.25 keV pr. kanal).

Oppgave

Ta opp ^{60}Co og ^{133}Ba spektra og gjør en energikalibrering.

Øvelse 2: Detektoroppløsning

Den oppløsningen vi observerer (måler fra spektret) er en funksjon av egenskapene til hvert enkelt ledd i spektroskopisystemet vårt. For å skaffe oss et bilde av detektorkrystallets oppløsning skal vi måle oppløsningen til signalbehandlingselektronikken og utfra dette beregne detektoroppløsningen. La oss kalle elektronikkens oppløsning for $R(E)$ og detektorens oppløsning for $R(D)$. Totaloppløsningen $R(T)$ vil da være gitt ved:

$$R(T) = \sqrt{[R(D)]^2 + [R(E)]^2} \quad (1)$$

Det er en nedre grense for $R(D)$ gitt av den statistiske fordelingen av antall elektroner som produseres når γ -kvantet absorberes i detektorkrystallet. Følgelig er $R(D)$ også energiavhengig. På grunnlag av statistiske modeller kan vi uttrykke

$$R(D) = 2.35\sqrt{F \cdot E} \quad (2)$$

der E er γ -kvantets energi i MeV. F er den såkalte statistiske "Fano" faktor, oppkalt etter mannen som utviklet modellen. Verdien F er ikke triviell å regne ut, siden ionisasjonsprosessene i detektorkrystallet ikke er uavhengig av hverandre (vi kan derfor ikke bruke Poisson statistikk, da hadde $F=1$). En god tilnærming er imidlertid gitt ved

$$R(D) \text{ (i keV)} = 1.35\sqrt{E \text{ (i MeV)}} \quad (3)$$

Oppgave

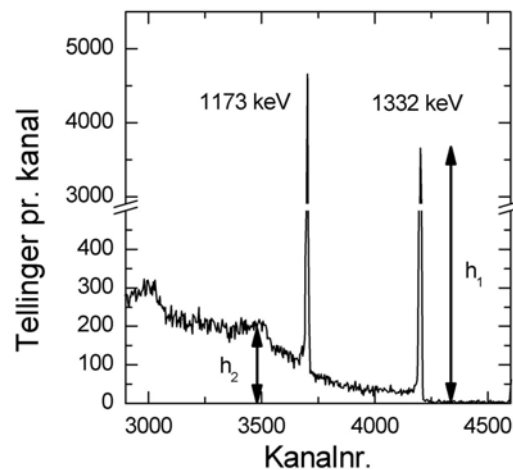
Mål $R(E)$ ved hjelp av pulseren. Still inn pulserens amplitude slik at signalene tilsvarer $E_\gamma = 1.32$ MeV. Fra ^{60}Co spektret finner du $R(T)$ for den samme energien, regn så ut $R(D)$ og sammenlign med verdien du får fra (3). Hvordan forholder de målte og beregnede $R(D)$ verdiene seg?

Øvelse 3: Fototoppeffektivitet for Ge-detektorer

I denne delen av oppgaven skal vi beregne Topp-til-Compton forholdet for en Ge detektor.

Oppgave

Ta opp et ^{60}Co spektrum (eller bruk det du tok opp for energikalibrering) slik at du kan lese ut høydene h_1 og h_2 definert i figur 3 for 1.32 MeV γ -linjen. h_1 er fototoppens høyde og h_2 er den tilsvarende Comptonryggens høyde. Regn så ut top-til-Compton forholdet for Ge detektoren.



Figur 2 Definisjon av h_1 og h_2 .

Øvelse 4: Escape topper

Et 20 mL telleglass fylt med fast NaOH er blitt nøytronaktivert. Vi får da dannet ^{24}Na som har en meget høyenergetisk γ -linje (hvilken?). Denne vil gi tydelige single-escape (SE) og double-escape (DB) topper i spektret.

Oppgave

Juster forsterkningen til 1 keV per kanal. Ta opp et spektrum fra den nøytronaktiverte NaOH prøven og identifiser γ -toppene i spektret. Beregn SE/fototopp og DE/fototopp forholdene (dvs. intensitetsforholdene).