

# K8

## Koincidensmätning

### MÅLSÄTTNING.

Laborationen ska visa hur moderna koincidensmätmetoder används inom subatomär fysik samt de problem och fördelar de innebär. Detta exemplifieras med en gamma-gamma koincidensmätning, vilket även ger inblick i gammamätningsteknik och gammastrålningens växelverkan med materia.

### FÖRKUNSKAPER.

Du bör ha grundläggande kunskaper om beta- och gammasönderfall, gammastrålningens växelverkan med materia och elektrisk mätteknik. Besvara instuderingsfrågorna !

---

Namn .....

Kurs .....

Utförd den .....

Handledare .....

Godkänd den .....

av .....



## 1. Introduktion

En koincidensmätning innebär att flera storheter som har sitt ursprung i en och samma fysikaliska process mäts samtidigt. Detta har många fördelar, men komplicerar mät-förfarandet avsevärt. Några exempel på fördelar med koincidensmätningar:

- Bättre signal/bakgrundsförhållandet då en önskad "signatur" kan selekteras.
- Konsekutiva gammaövergångar kan mätas och genom vinkelberoendet kan strålningens multipolaritet bestämmas.
- Vid flerstegsprocesser som t.ex. ett betasönderfall som åtföljs av gammaemission eller beta-fördröjd partikelemission.
- Vid stora experimentuppställningar för mätning av komplexa reaktioner och där många detektorsystem är inblandade är tidsinformation nödvändig för att utvinna information.

Fördelarna innebär att i princip alla experiment som utförs idag inom subatomär fysik är koincidensexperiment. Vi ska under laborationen använda en uppställning där två germaniumdetektorer kan utnyttjas för att studera koincidenta gammastrålar. Krane kap. 7.6 - 7.7 behandlar utförligt gamma- och koincidensmätningar.

## 2. Gammastrålningens växelverkan med materia

För att kunna detektera gammastrålning måste den på något sätt växelverka med detektormaterialet. En gammadetektors beteende är därför direkt relaterat till hur gammastrålning växelverkar med materia, vilket kan ske på tre sätt:

1. Fotoabsorption, där den inkommande fotonen avger all sin energi till en atomär elektron i materialet. Elektronen erhåller den inkommande fotonens energi minus bindningsenergin.

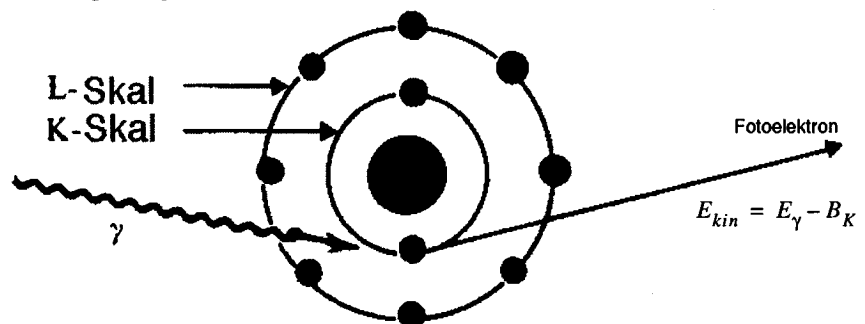


Fig. 1. Fotoabsorption

2. Comptonspridning, där fotonen sprids mot en atomär elektron och därvid transfererar en del av sin energi till denna. se fig. 2. Elektronens energi efter spridningen beror av fotonens ursprungliga energi  $E_\gamma = h\nu$  och spridningsvinkel  $\theta$  enl.

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma = \frac{E_\gamma^2 (1 - \cos\theta)}{mc^2 + E_\gamma (1 - \cos\theta)} \quad (1)$$

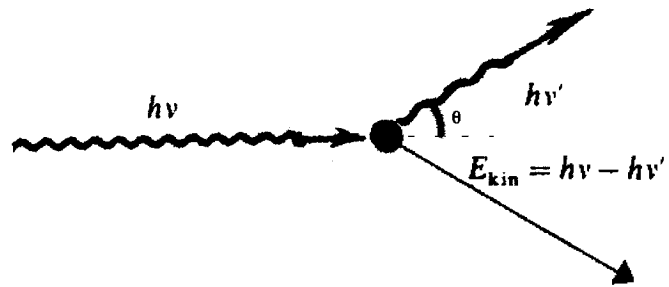


Fig. 2. Comptonspridning

3. Parbildning, då en foton ombildas till ett elektron-positronpar, kan bara förekomma för gammaenergies högre än 1.022 MeV då vi utgående från en masslös partikel bildar två massiva partiklar med massan 511+511 keV. Denna process kan inte ske i vakuum om impulsen skall vara bevarad, utan måste ske i närheten av en kärna, som tar upp en liten del av impulsen. Elektron-positronparet delar den energi som finns kvar efter skapandet av elektronen och positronen.

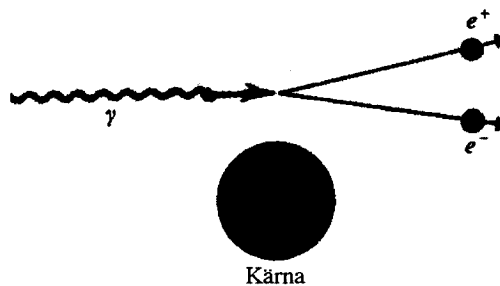


Fig. 3. Parbildning

I realiteten har man ofta en kombination av dessa effekter, vilket visas i fig. 4. En foton kan Comptonspridas ett flertal gånger och därigenom successivt få lägre energi innan den slutligen fotoabsorberas (fall 2 i fig. 4). I en dylik process deponerar i vilket fall som helst fotonen hela sin energi i materialet, men om den efter en eller flera Comptonspridningar försvinner ut från detektorn har bara en del av energin kunnat detekteras, vilket motsvarar fall 1.

Alla de uppräknade processerna ger alltså som slutresultat energetiska elektroner (positroner). Dessa växelverkar i sin tur med de atomära elektronerna och bromsas ner och avger sin energi till detektormaterialet som exciteras. Då en halvledardetektor som germanium eller kisel används ger växelverkansprocessen upphov till elektronhålpår i materialet. Vid parbildning kommer ytterligare processer in i bilden; positronen bromsas i princip ner på samma sätt som elektronen och exciterar därvid detektormaterialet, men när den har nått en tillräckligt låg hastighet kan den bilda **positronium** med en atomär elektron i materialet. Elektronen och positronen är varandras antipartiklar, vilka annihileras under utsändande av två gammastrålar med vardera 511 keV energi och i motsatt riktning (impulskonservering). Dessa två fotoner kan också detekteras och totalabsorberas, och i detta fall har fotonens totala energi avgetts till detektormaterialet. Denna process visas i fall 3 i fig. 4. Om den ena eller

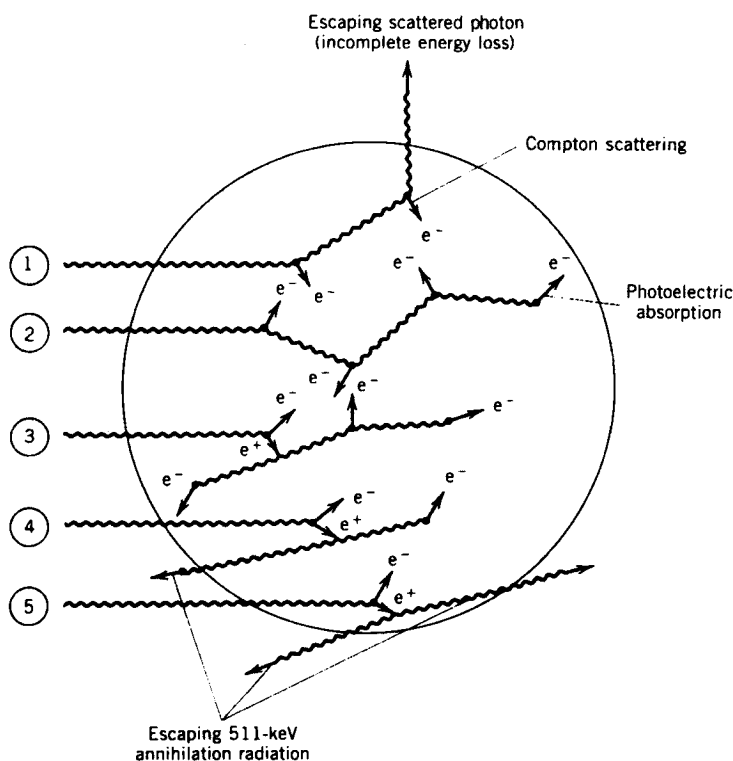


Fig. 4. Några av de sätt som en inkommande gammafoton kan växelverka med detektormaterialet. Se texten för beskrivning.

båda av annihilationsfotonerna försvinner ut ur detektorn utan att växelverka (fall 4 resp. 5) kommer en energi motsvarande totalenergin minus 511 resp. 1022 keV att registreras. De toppar som därigenom uppkommer i energispektrum kallas "single" resp. "double escape peak".

Ett karakteristiskt energispektrum från en germaniumdetektor visas i fig. 5, med en skarp totalabsorptionstopp och en bred fördelning från Comptonspridda fotoner. Som synes är de händelser där endast en del av fotonens energi deponerats i detektorn klart dominerande, men den mycket goda upplösningen gör att totalenergihändelserna trots detta framträder tydligt.

### 3. Mätuppställning

En germaniumdetektor används vid kväves kokpunkt (77K) för att minska den intrinsiska ledningsförmågan och det termiska bruset. En spänning läggs över detektorn, som uppför sig som en diod, och utarmar den på laddningsbärare. Spänningens storlek (några kV) bestäms av kristallens storlek. Detektorn leder normalt mycket litet ström eftersom den är en hyperren en-kristall. Som tidigare har nämnts skapas elektron-hålpar då ett inkommande strålningskvantum växelverkar med kristallen. Detta gör att den för ett kort ögonblick blir elektriskt ledande, och den applicerade högspän-

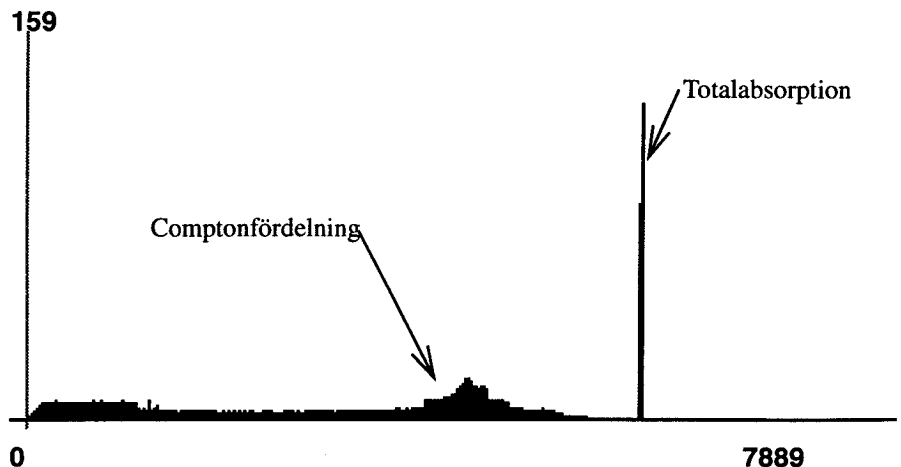


Fig. 5. Energispektrum upptaget med Ge-detektor. Den skarpa toppen motsvarar totalabsorption och fördelningen vid lägre energier Comptonspridda fotoner.

ningen driver de skapade laddningarna mot elektroderna. Laddningen är proportionell mot det antal elektron-hålpar som har skapats i materialet, och alltså i sin tur proportionell mot den energi som har deponerats i materialet.

Laddningspulserna konverteras i en förförstärkare till spänningpulser, inbyggd inuti detektorhöljet, vilka leds in i en spektroskopiförstärkare som omformar dem till Gaussformade pulser där pulshöjden bär på energiinformationen. Då ett rent energispektrum skall studeras kan dessa konverteras i en ADC (Analog-Digital-Converter) och presenteras på en standard-PC.

Här ska emellertid koicident gammafotoner studeras vilket kräver en något mer komplicerad uppställning. Förutom energiinformationen måste **tidsinformationen** utnyttjas, med andra ord ska bara de händelser där båda detektorerna har detekterat en foton inom ett mycket kort tidsintervall. En uppställning för detta visas i fig. 6. De tidigare nämnda spektroskopiförstärkarna är här markerade med SA. En spänningspuls går dessutom från förförstärkaren till en constant fraction discriminator (CFD). Denna modul avger en logisk signal (0 eller 1, motsvaras av 0 eller -0.8 V) då pulshöjden överstiger ett visst förinställt värde (för att stänga ute brussignaler) med mycket god tidsdefinition. Den bestäms tidsmässigt av när pulsen uppnår tex. 30% av sin totala pulshöjd (därför namnet **constant fraction**) och är alltså oberoende av pulstorleken. Denna signal används för att tala om när en detektor har registrerat ett strålningskvanta.

De logiska signalerna från de båda CFD:erna går till en AND-grind (se tidschema i fig. 7) i en logikmodul som ger en logisk signal ut om AND-villkoret är uppfyllt, dvs. ett strålningskvanta har detekterats i båda detektorerna "samtidigt". Vad "samtidigt" är bestäms av bredden på de signaler som sänds till AND-kopplingen; de måste överlappa varandra i tid. AND-kopplingens utsignal används som **trigger** till datainsamlingssystemet, dvs. till att ett **event**, en uppsättning datapunkter, skall konverteras i en ADC. Denna omvandlar amplituden på de pulser från spektroskopiförstärkarna som bär energiinformation och den puls som kommer från en Time-to-Amplitude Converter (TAC) till digitala siffror då en "Gate"-signal ger en logisk etta. Gate-signalen fås också från AND-modulen, men är positiv och tillräckligt lång för att tidsmässigt täcka energisignalerna vilket krävs för att den ADC som används ska konvertera pulserna.

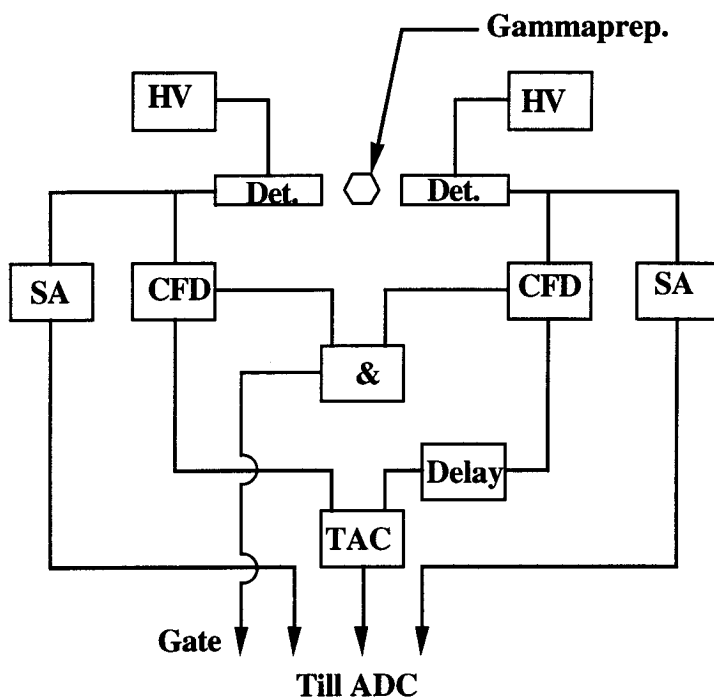


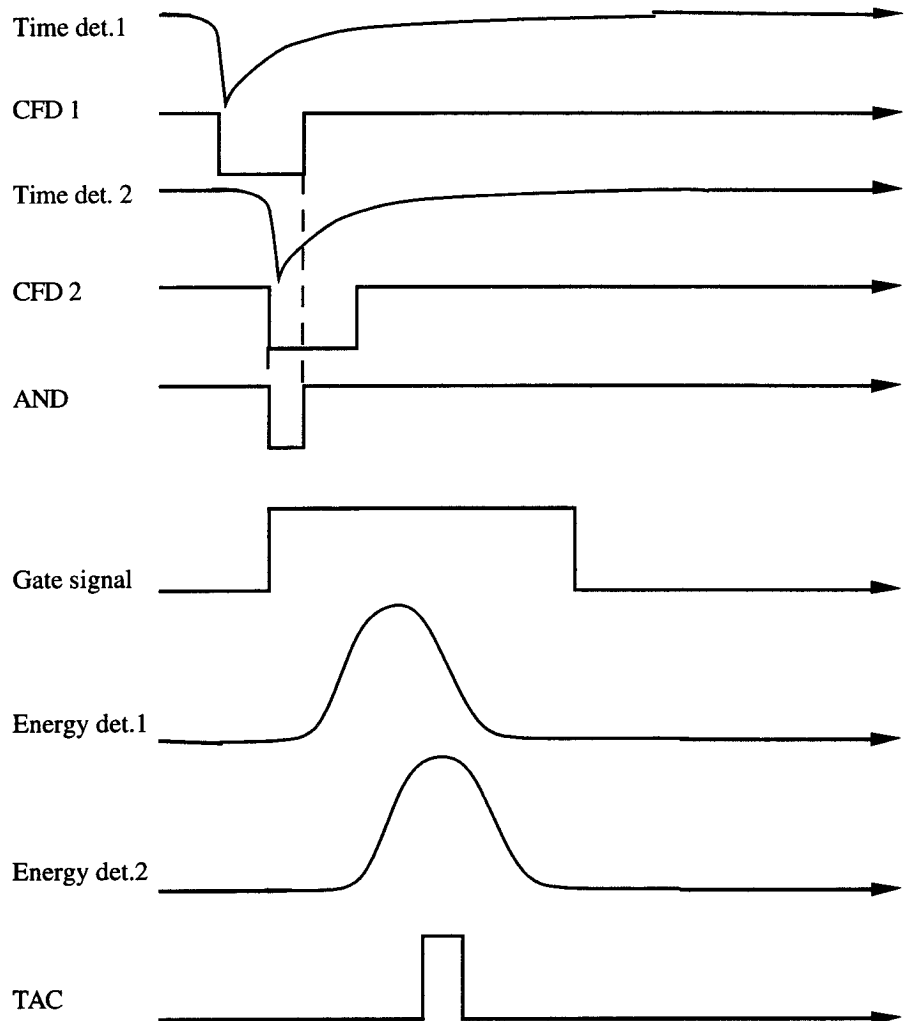
Fig. 6. Principskiss över den elektronikuppställning som används vid laborationen.

För att bestämma i hur hög grad de båda detekterade gammafotonerna är samtidigt används en TAC som är ett "tidtagarur" som omvandlar tiden mellan en stopp- och en startpuls till en pulshöjd. Den används för att mäta tiden mellan pulserna från de båda detektorerna, och följaktligen startas den med den ena CFD-pulsen och stoppas med den andra. För att undvika att stopp-pulsen kommer före start-pulsen fördröjs den förra med ett fast tidsintervall.

Då ett typiskt experiment inom subatomär fysik innebär att ett stort antal detektorer används så medför detta stora krav på tillförlitlighet och standardisering av den elektronik som används. Den elektronik som visas i fig. 6 är NIM (*Nuclear Instrument Module*)-moduler med standardiserade mått, förspänningar etc. Den modulära uppbyggnaden gör att det är lätt att bygga upp och ändra en mätuppställning utan att ha problem med anpassningar, lödning etc. Modulerna monteras i och får sin strömförsörjning från en sk. NIM-bin.

#### 4. Datainsamling och analys

Konvertering av data sker i en ADC som fungerar enligt CAMAC-standard. Denna är en modernare standard för elektronikmoduler som kan kontrolleras och läsas ut från en dator. Även här är mått och spänningar standardiserade, så man kan blanda olika fabrikat. Dessa moduler monteras i en CAMAC-crate, som förutom kontakter för strömförsörjning har ledningar för datatransmission inbyggda. På så sätt kan man genom en styrmodul, crate controller, ha kontakt med den dator som styr datainsamlingen. I detta fall sker detta över SCSI-bussen till en Macintosh Quadra, som har programvara för att bearbeta och presentera datan.



**Fig. 7. Tidsschema för de pulser som används i den aktuella experimentuppställningen.**

Vi kan alltså med den här uppställningen mäta tre storheter från en och samma gamma-gamma koincidens; den energi som deponerats i var och en av detektorerna och tiden mellan när de två fotonerna detekteras. Dessa sammanhörande datapunkter är våra event.

I stora experiment är ofta den fysikaliska betydelsen av mätdatan betydligt mindre klar under mätningens gång då kalibreringar etc. inte har utvärderats. Experimentatorernas ansträngningar koncentreras istället på att de signaler som uppmäts visar rimliga värden, sk. "on-line" analys. Den uppmätta informationen lagras i en datafil som en lista med events, så att man senare vid "off-line" analys kan spela upp mätningen igen och se vad som hände, sätta komplicerade villkor och räkna om de uppmätta talen till fysikaliska storheter. Denna analys kan ta flera år att slutföra. Ett enkelt exempel som är tillämpligt på den uppställning som används vid laborationen är hur TAC-signalen kan användas. Den "samtidighetsinformation" som den förser oss med



gör att vi kan sätta ett ganska generöst villkor för vår tidskoincidens (hårdvaruvillkor) för att senare skärpa kraven vid den efterföljande dataanalysen (mjukvaruvillkor).

## 5. Instuderingsfrågor

---

1. Varför kan inte impulsen bevaras vid parbildning i vakuum ?
2. Vilka material är lämpliga som strålningskydd mot gammastrålning utgående från dess växelverkan med materia ?
3. Hur kan en "single escape"-topp synas tydligt i ett energispektrum trots att sannolikheten måste vara mycket liten att den ena annihilationsfotonen totalabsorberas samtidigt som den andra överhuvudtaget inte växelverkar med detektorn ?
4. Hur många elektron-hål-par kan teoretiskt bildas då en 1332 keV foton fotoabsorberas i en germaniumkristall ?
5. Hur många bitars upplösning behöver vår ADC för att fullt kunna utnyttja en Ge-detektor med en upplösning på 2 keV då vi har ett dynamiskt intervall på 2 MeV ?

## 6. Uppgifter

---

1. Bekanta er med uppställningen och försök med handledarens hjälp förstå de ingående komponenterna.
2. Mät gammastrålningen från  $^{60}\text{Co}$  utan koincidenskrav, sk. "singles-mätning". Studera spektra och energikalibrera systemet.
3. Gör om mätningen, men nu med ett villkor att endast koincidenta fotoner detekteras. Analysera resultatet, och försök dra slutsatser om  $^{60}\text{Co}$ 's sönderfallsschema.
4. Mät gammastrålningen från  $^{22}\text{Na}$  på samma sätt som i (2) och (3).