

# 11. Scintilačné detektory, určenie energie gama žiarenia pomocou scintilačných detektorov

## 1. Všeobecná časť

Scintilačný detektor je dnes jedným z najpoužívanejších detektorov v jadrovej fyzike a technike, a to najmä vďaka veľkej variabilite jeho realizácie a relatívne nízkym nárokom na údržbu. Historicky možno považovať za prvý scintilačný detektor spintariskop, ktorý vyrobil v roku 1903 Crookes.

Pri interakcii gama žiarenia s látkou dochádza k absorpcii a rozptylu fotónov gama. Ak zanedbáme efekty, ktorých pravdepodobnosť je malá, potom celkový účinný prierez interakcie  $\sigma$  určujú tri hlavné procesy: fotoefekt ( $\sigma_F$ ), Comptonov efekt ( $\sigma_C$ ) a tvorba elektrón-pozitrónových ( $e^-e^+$ ) párov ( $\sigma_P$ ). Pre celkový účinný prierez platí:

$$\sigma = \sigma_F + \sigma_C + \sigma_P \quad [m^2] \quad (11.1)$$

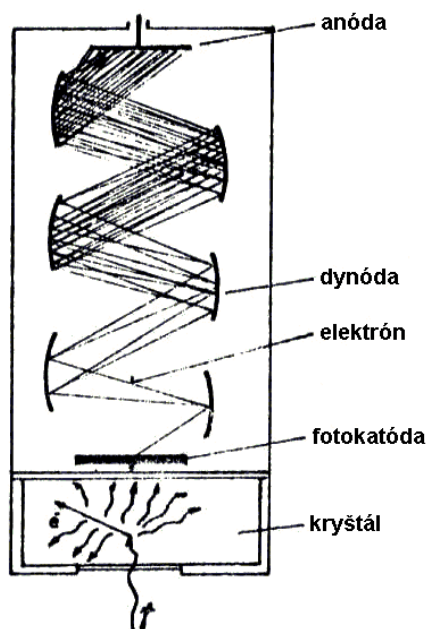
Z hľadiska určovania energie fotónov gama má najväčší význam fotoefekt. Pri tomto procese dochádza k úplnému pohlteniu fotónov, pričom pohltená energia  $E_\gamma$  sa spotrebuje na ionizáciu atómu  $E_i$ , kinetickú energiu uvoľneného elektrónu  $E_k$  a energiu spätného odrazu atómu  $E_r$ .

$$E_\gamma = E_i + E_k + E_r \quad [eV] \quad (11.2)$$

Pretože energie  $E_i$  a  $E_r$  sú relatívne veľmi malé, možno predpokladať, že platí  $E_\gamma \approx E_k$ . Táto skutočnosť znamená, že celá energia fotónov sa pri fotoefekte odovzdá elektrónom, ktoré majú po uvoľnení približne rovnakú energiu. Výsledkom je čiarové spektrum energie. Je dôležité si uvedomiť, že väzba elektrónu s atómom je pre fotoefekt dôležitá. Na voľnom elektróne fotoefekt nie je možný a uplatňuje sa Comptonov efekt (pozri úlohu 5). Pravdepodobnosť fotoefektu závisí od atómového čísla látky ( $\sigma_F \sim Z^6$ ) a od energie gama žiarenia.

Princíp činnosti scintilačných detektorov je založený na premene energie gama žiarenia, resp. nabitých častíc, na **svetelné záblesky - scintilácie**, pričom vychádzame z teórie interakcie gama žiarenia s látkou. Fotón gama, ktorý vletí do detektora, je absorbovaný niektorým z atómov, pričom vzniká voľný elektrón s energiou rovnajúcou sa energii primárneho fotónu zmenšenej o výstupnú prácu elektrónu (fotoefekt) alebo s energiou menšou ako bola energia primárneho fotónu (Comptonov efekt, tvorba párov). Tento elektrón

sa pohybuje v látke detektora s rýchlosťou zodpovedajúcou jeho kinetickej energii, pričom excituje ďalšie atómy (molekuly) látky detektora. Tieto pri spätnom prechode do základného stavu vyžiaria fotón, ktorého vlnová dĺžka pri vhodnej voľbe pracovnej látky detektora leží v oblasti viditeľného svetla. Tým vznikajú svetelné záblesky – **scintilácie**. Materiály, produkujúce tieto záblesky, sa nazývajú **scintilátory**. Vhodné na pozorovanie sú scintilácie vyvolané  $\alpha$  časticami pri použití ZnS scintilátora. Scintilácie sú pozorovateľné v zatemnenej miestnosti pomocou mikroskopu. Pre činnosť scintilačných detektorov je podstatné, že **intenzita svetelného záblesku je úmerná energii na detektor dopadajúceho žiarenia**. V praxi sa scintilácie nepozorujú mikroskopom, ale sú pomocou fotonásobiča konvertované na elektrický signál - impulz. Súčasné scintilačné detektory preto pozostávajú z dvoch základných častí: scintilátora a fotonásobiča (obr. 11.1).



Obr. 11.1: Scintilačný detektor žiarenia (scintilačná sonda).

Vlastnosti scintilačných detektorov:

- a) **Citlivosť na energiu.** Nad istou minimálnou energiou sú scintilačné detektory schopné rozlišovať energiu odovzdanú luminiscenčnej látke, nakoľko intenzita svetelného záblesku je úmerná energii dopadajúceho žiarenia (odovzdanej energii). Správne nastavený fotonásobič je lineárne zariadenie, to znamená, že amplitúda výstupného elektrického signálu (impulzu) je úmerná odovzdanej energii.
- b) **Rýchla časová odozva.** Táto rýchlosť umožňuje použiť scintilačné detektory tam, kde treba odlíšiť malý časový interval medzi dvoma na detektor dopadnutými časticami. Časová odozva je závislá najmä od doby záblesku použitého scintilátora,

ktorá sa pohybuje od  $10^{-9}$  s pre organické až  $10^{-5}$  s pre niektoré anorganické scintilátory.

- c) **Diskriminácia podľa tvaru impulzu.** Niektoré scintilátory umožňujú rozlišovať častice podľa tvaru emitovaného svetelného impulzu. To súvisí s rôznym fluorescenčným mechanizmom, zodpovedajúcim časticiam s rôznou ionizačnou schopnosťou.

Luminiscenčné látky používané v scintilačných detektoroch delíme podľa zloženia na organické a anorganické; podľa skupenstva na pevné, kvapalné a plynné. Podrobnejšie informácie o vzniku scintilácií (luminiscenčných zábleskov) a rozdelení jednotlivých typov scintilátorov je možné nájsť v práci [1].

Fotonásobič plní funkciu vákuového fotočlánku a prúdového zosilňovača s vysokým koeficientom zosilnenia. Pozostáva z fotokatódy, anódy a sústavy dynód zhotovených z materiálu, ktorý má vysoký koeficient sekundárnej emisie elektrónov. Tento systém je umiestnený vo vákuovej trubici.

Účinkom svetelných zábleskov, ktoré vznikli v scintilátore, sa z fotokatódy vyrazia elektróny, ktoré sú usmernené elektrickým poľom na prvú dynódu a súčasne urýchlené na vhodnú energiu tak, aby boli z ďalšej dynódy vyrazené ďalšie sekundárne elektróny. Vyrazené elektróny sa fokusujú na nasledujúcu dynódu a celý proces sa opakuje niekoľkokrát. Týmto postupom vznikne elektrónová lavína. Dynód je zvyčajne 11 až 13. Na anóde vzniká elektrický impulz, ktorý je ďalej spracovávaný v analyzátore impulzov.

Ak energia dopadajúceho žiarenia nepresahuje 1 MeV, stačí uvažovať len dva procesy interakcie gama žiarenia s látkou: fotoefekt a Comptonov rozptyl. Amplitúdové spektrum impulzov bude v takomto prípade pozostávať z dvoch príspevkov:

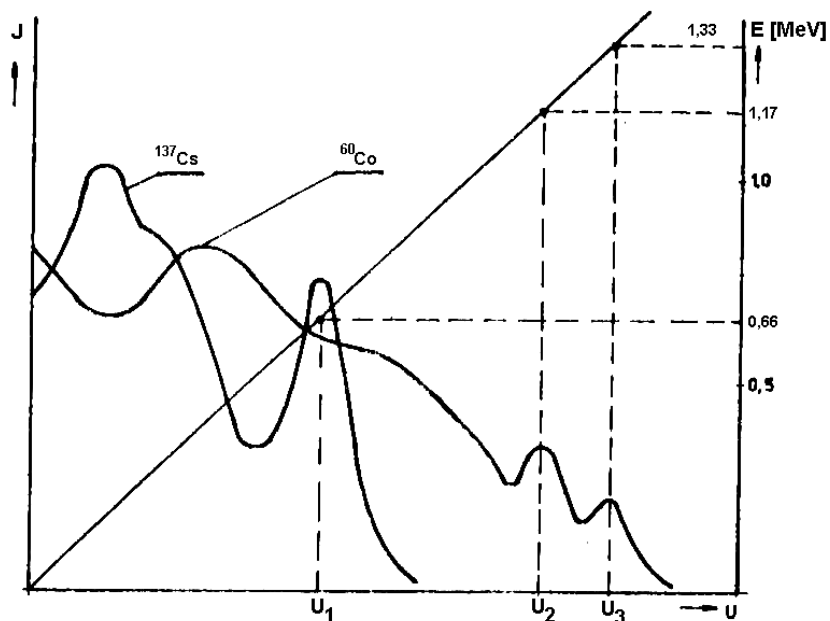
1. Spojitej časti na začiatku spektra, ktorá zodpovedá Comptonovým elektrónom.
2. Píku na konci spektra, ktorý zodpovedá fotoelektrónom, pričom ak poznáme energiu gama žiarenia, poznáme aj energiu fotoelektrónov. Túto energiu priradujeme maximálnej hodnote píku (obr. 11.2).

## 2. Zadanie a postup merania

Cieľom úlohy je oboznámiť sa s princípom činnosti a fyzikálnou podstatou scintilačných detektorov, sledovať scintilácie spôsobené  $\alpha$  časticami, nakalibrovať amplitúdové spektrum impulzov podľa energie a určiť neznámu energiu gama žiarenia pomocou scintilačného detektora.

## Úlohy:

- 1) Pozorujte scintilácie vyvolané zdrojom  $\alpha$  žiarenia na tienitku pokrytú vrstvou ZnS pomocou mikroskopu (spintariskop).
- 2) Zmerajte amplitúdové spektrum impulzov od dvoch zdrojov gama žiarenia so známou energiou (napr.  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ).
- 3) Urobte ciachovanie energie tak, že pomocou známej hodnoty energie v aspoň dvoch kanáloch spektra (fotomaximum) priradíte lineárnou regresiou každému kanálu zodpovedajúcu hodnotu energie (obr. 11.2). Tomuto postupu sa hovorí **energetická kalibrácia** spektrometrickej trasy.
- 4) Po vykonaní energetickej kalibrácie zmerajte amplitúdové spektrum neznámeho zdroja gama žiarenia a určte jeho energiu.



Obr. 11.2: Amplitúdové spektrum impulzov namerané scintilačným spektrometrom od zdroja gama žiarenia  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{60}\text{Co}$ .

## 3. Literatúra

- [1] Círák, J. a kol.: Jadrovo-fyzikálne metódy a zariadenia. Návod na laboratórne cvičenia. 2. vydanie, Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2001, ISBN 80-227.1509-3.