

### 33. Určenie absolútnej aktivity koincidenčnou metódou

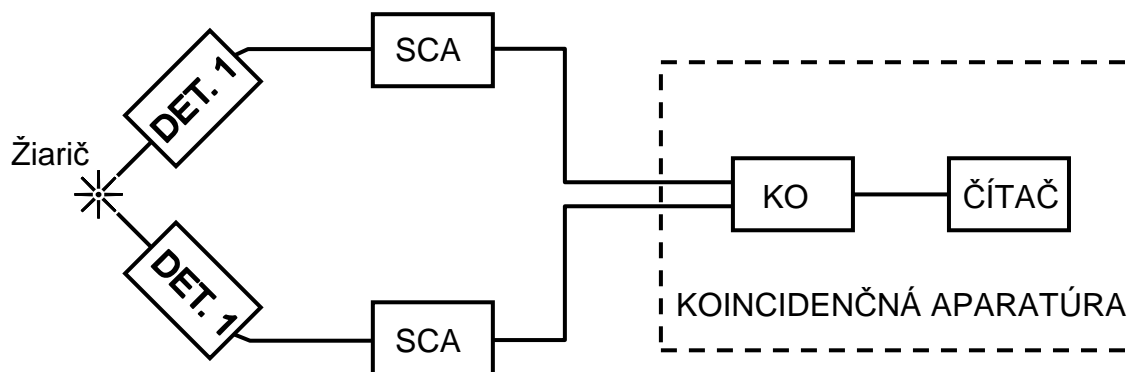
#### 1. Všeobecná časť

Vzájomné časové vzťahy medzi signálmi z detektorov žiarenia môžu poskytovať dôležité informácie, ktoré sa nedajú získať analýzou samostatného amplitúdového rozloženia. Tieto informácie buď priamo súvisia s fyzikálnymi veličinami, ktorých rozmerom je čas, alebo sú zviazané cez určitý krátkodobý proces a inými veličinami, ako je energia, rýchlosť atď.

Sledovanie určitých časových korelácií medzi dvoma alebo viacerými dejmi sa vykonáva pomocou koincidenčných, resp. antikoincidenčných meraní.

Koincidenčné meranie tkvie v registrovaní súčasne sa vyskytujúcich impulzných signálov alebo impulzov, ktorých okamihy výskytu sú v určitom vzťahu. Naproti tomu pri antikoincidenčnom meraní sa potláčajú impulzy z jedného detektora vtedy, ak okamih ich výskytu je totožný, alebo je vo vopred očakávanej časovej korelácii s okamihom výskytu impulzu z druhého, prípadne viacerých detektorov.

Koincidenčná metóda sa používa na registráciu súčasných dejov, a to najmä pri štúdiu jadrových reakcií, ďalej pre sledovaní postupných rádioaktívnych premien a pri experimentoch s časticami vysokých energií.



Obr. 33.1: Principiálna schéma zapojenia prístrojov pri určovaní aktivity koincidenčnou metódou.

Koincidenčná metóda sa v jadrovofyzikálnych meraniach zakladá na registrácii rôznych druhov žiarenia dvoma detektormi (prípadne viacerými) a na následnom sledovaní časovej korelácie ich impulzov koincidenčným obvodom KO (obr. 33.1). Pritom jeden z detektorov registruje žiarenie i-teho typu, druhý j-teho (resp. toho istého typu, ale s inou energiou). Impulzy od detektorov sa môžu privádzať do jednakanálových analyzátorov (SCA) a z nich

do elektronickej koincidenčnej aparatury s rozlišovacou dobou  $\tau$ . Rozlišovacou dobou sa tu rozumie najväčší časový rozdiel medzi impulzmi z prvého a druhého detektora, pri ktorom sa ešte registrujú koincidence, t. j. na výstupe koincidenčného obvodu KO sa pozorujú signály iba vtedy, keď impulzy z jednotlivých detekčných kanálov prichádzajú na vstup koincidenčného obvodu v rámci rozlišovacej doby  $\tau$ . V prípade, že koincidence nenastanú, žiarenie i-teho a j-teho typu sú nezávislé.

Vzhľadom na to, že rozlišovacia schopnosť meracieho prístroja nemôže byť ľubovoľne veľká, hovoríme o koincencii aj vtedy, keď je časový interval medzi dvoma udalosťami menší, ako je časové rozlíšenie koincidenčnej aparatury. Konečná veľkosť rozlíšenia je príčinou nežiadúcich náhodných koincencií, pretože počas intervalu zodpovedajúcemu časovému rozlíšeniu použitej aparatury môžu byť aj deje vzájomne nezávislé registrované ako koincidenčné. Zmenšovaním rozlišovacej doby môžeme znižovať aj početnosť náhodných koincencií, avšak len do určitej hranice. Pri veľmi malom rozlíšení koincidenčného obvodu môže dochádzať k strate v počítaní pravých (skutočných) koincencií v dôsledku existencie určitej fluktuácie (oneskorenia) impulzov na vstupe koincidenčného obvodu.

Koincidenčnú metódu možno použiť aj na meranie absolútnej aktivity žiaričov, ktoré pri rádioaktívnej premene emitujú dve alebo niekoľko charakteristických častíc (napr. beta a gama), ktoré sa vyskytujú súčasne alebo v určenom časovom vzťahu.

Ak označíme symbolom  $N_0$  počet premien v zdroji žiarenia za určitú dobu  $t$  a rádioaktívna premena je sprevádzaná postupným (kaskádnym) vyžarovaním jednotlivých druhov žiarenia, potom počet impulzov zaregistrovaných jednotlivými detektormi za dobu  $t$  bude:

$$N_1 = N_0 \varepsilon_1 \omega_1 \quad N_2 = N_0 \varepsilon_2 \omega_2 \quad (33.1)$$

kde  $\varepsilon_1$  a  $\varepsilon_2$  sú účinnosti registrácie i-teho a j-teho druhu žiarenia,  $\omega_1$  a  $\omega_2$  sú odpovedajúce korekcie na priestorové uhly registrácie žiarenia. Pri kaskádnych premenách počet koincencií  $N_{1,2}$ , zaregistrovaný koincidenčnou aparaturou, bude (v prípade, že sa nevyskytujú žiadne prekrytia koincencií):

$$N_{1,2} = N_0 \varepsilon_1 \omega_1 \varepsilon_2 \omega_2 + 2\tau N_1 N_2 \quad (33.2)$$

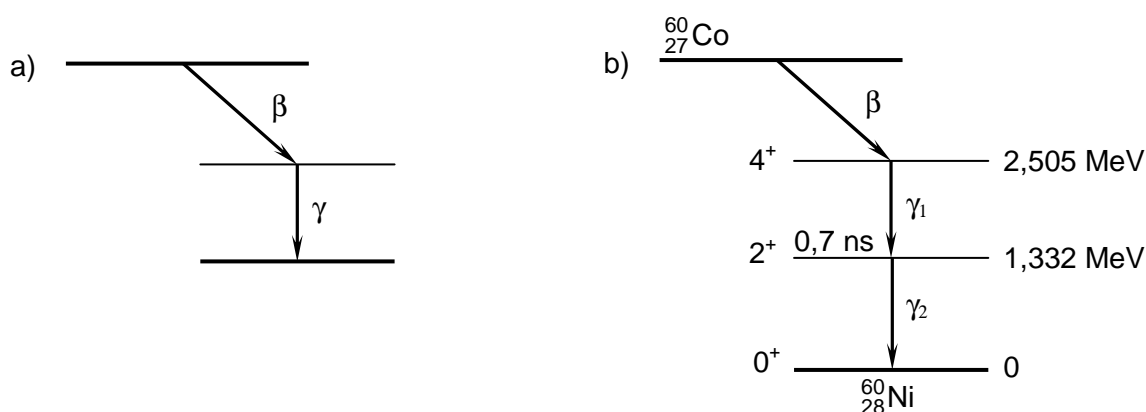
Prvý člen výrazu (33.2) udáva počet skutočných koincencií  $N_s$ , druhý – počet náhodných koincencií  $N_n$ . Pri uvažovaní náhodných koincencií jednotlivé kanály aparatury, ktorými sa privádzajú impulzy, sú ekvivalentné. Môže dôjsť k náhodnému oneskoreniu impulzu v jednom z kanálov o dobu  $\tau$ , aj k náhodnému predbehaniu o tú istú dobu  $\tau$ . Preto vo vzťahu (33.2) druhý člen obsahuje časový interval  $2\tau$ . V dôsledku určitej nestability rozlišovacej doby nemožno presne určiť  $N_n$ , preto sa má merať v podmienkach, keď  $N_s > N_n$ .

Z výrazov (33.1) a (33.2) môžeme dostať vzťah:

$$\frac{N_s}{N_n} = \frac{1}{2N_0\tau} \quad (33.3)$$

z ktorého vidieť, že je výhodné mať koincidenčný obvod s dostatočne vysokou rozlišovacou schopnosťou. Ohraničujúcim faktorom je tu však časový rozptyl impulzov od detektorov žiarenia, ktorý pri plynových počítačoch je asi  $10^{-5}$  a pri scintilačných rádovo  $10^{-7}$  s.

Zo vzťahu (33.3) vidieť, že pomer medzi skutočnými a náhodnými koincidenčiami sa zväčšuje so znižovaním aktivity  $N_0$ . Na druhej strane však absolútny počet skutočných koincidiencií  $N_s$  je úmerný  $N_0$ . Pri nižšej aktivite treba zväčšiť dobu merania, aby bola dostatočne malá štatistická chyba, a tým zabezpečená nevyhnutná presnosť merania koincidiencií  $N_{1,2}$ .



Obr. 33.2: Rozpadová schéma. a) jednoduchej  $\beta$  premeny s nasledujúcim vyžiarovaním  $\gamma$  kvánt, b) izotopu kobaltu  ${}^{60}_{27}\text{Co}$ .

Na základe merania koincidiencií možno určiť absolútnu hodnotu niektorej z veličín, ktoré sú obsiahnuté vo výraze pre skutočné koincidence, napr. počet rádioaktívnych premien  $N_0$  za určitú dobu  $t$ . Ak sa uskutočnili postupné jadrové premeny s vyžarovaním i-teho a j-teho žiarenia a každý z detektorov zaregistroval príslušný druh žiarenia, potom z rovníc (33.1) a (33.2) dostaneme vzťah:

$$\frac{N_1 N_2}{N_{1,2}^s} = N_0 \quad (33.4)$$

kde  $N_1$ ,  $N_2$  sú početnosti impulzov zaregistrované z jednotlivých detektorov žiarenia a  $N_{1,2}^s$  je počet skutočných koincidiencií. To znamená, ak sa registrujú koincidence a merajú počty impulzov v jednotlivých trasách, možno určiť absolútnu aktivitu preparátu  $N_0/t$ . Najvýhodnejšie je pritom využitie  $\beta$ - $\gamma$  koincidiencií, resp. v prípade kaskádnych prechodov  $\gamma$ - $\gamma$  koincidiencií. Pri jednoduchom  $\beta$ -rozpade s nasledujúcim vyžarovaním  $\gamma$  kvánt (obr. 33.2a) možno dosiahnuť, aby detektor  $\gamma$  kvánt neregistroval elektróny  $\beta$  rozpadu, (napr. použitím

filtra).  $\beta$  počítač bude vždy registrovať  $\gamma$  kvantá. Keďže jeho účinnosť  $\varepsilon_\beta \gg \varepsilon_\gamma$ , chyba v určení aktivity bude pomerne malá.

V prípade využitia  $\gamma$ - $\gamma$  koincidencií môže dochádzať k ich ovplyvňovaniu rozptýleným (sekundárnym) žiarením. Ak v detektore, ktorý registruje  $\gamma$  žiarenie s vyššou energiou, sa impulz vyvolal Comptonovským elektrónom, potom rozptýlené  $\gamma$  sa môže zaregistrovať druhým detektorom a aparátúra môže zaznamenať skutočnú koincidiu  $N^{\text{e}} \gamma$ - $\gamma'$ . Pri blízkom rozložení detektora  $\gamma$  žiarenia sa počet  $\gamma$ - $\gamma'$  koincidencií môže rovnať, ale niekedy aj prevyšuje počet  $\gamma$ - $\gamma$  koincidencií. Znížiť vplyv rozptýleného žiarenia možno napr. v prípade použitia scintilačných alebo polovodičových detektorov vhodnou diskrimináciou impulzov v analyzátoch.

Ak z dvoch kaskádnych  $\gamma$  kvánt prichádza do príslušného detektora iba jedno a druhé sa rozptýli okolitými predmetmi, môže vznikajúce sekundárne  $\gamma$  žiarenie zaregistrovať druhý detektor. Počet takých koincidencií závisí od geometrie merania. Kvôli zníženiu počtu týchto koincidencií sa odstránia blízke okolité predmety, resp. sa detektor špeciálne tieni.

Pri koincidenčných meraniach treba uvažovať aj jav korelácie smerov vyletovania častíc a  $\gamma$  kvánt, emitovaných pri jadrových premenách. To znamená, že napr. pri meraní aktivity rádionuklidu  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  (rozpadová schéma je na obr. 33.2b) pomocou  $\gamma$ - $\gamma$  koincidencií bude pri fixovanom smere výletu jedného z kvánt pravdepodobnosť emisie druhého  $\gamma$  kvanta závisieť od uhla  $\theta$  zvieraného vyžarovanými  $\gamma$  kvantami. Podľa teórie a experimentov opravy na uhlovú koreláciu budú zanedbateľné pre uhly  $\theta = 45^\circ$  a  $135^\circ$ .

## 2. Zadanie

- 1) Oboznámiť sa s experimentálnym zariadením a pripraviť ho na praktické meranie.
- 2) Namerať pozadie registrované detektormi v jednotlivých kanáloch.
- 3) Určiť absolútnu aktivitu rádionuklidu  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  koincidenčnou metódou. Pre zistenie vplyvu uhlových korelácií merať pri uhloch  $45^\circ$ ,  $135^\circ$  a  $180^\circ$ . Pri určení aktivity uvažovať neistoty (chyby) merania.
- 4) Vypočítať pomocou rozpadového zákona a certifikačných údajov teoretickú (skutočnú) hodnotu absolútnej aktivity  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  ( $T_{1/2} = 5,272$  rokov).
- 5) Stanoviť relatívnu neistotu určenia aktivity koincidenčnou metódou.
- 6) Určiť účinnosti použitých detektorov pre jednotlivé energie  $\gamma$  kvánt (1,17 a 1,33 MeV).
- 7) Zhodnotiť metodiku merania a dosiahnuté výsledky.