

6. Absorpcia gama žiarenia a jej praktické využitie

1. Všeobecná časť

Podstatou interakcie gama žiarenia s látkou je absorpcia fotónov rôznymi mechanizmami, v dôsledku čoho dochádza k exponenciálnemu poklesu intenzity žiarenia v závislosti od hrúbky materiálu, ktorým žiarenie preniká (absorpčný zákon):

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (6.1)$$

kde $I(x)$ je intenzita žiarenia po prechode vrstvou materiálu hrúbky x , I_0 je intenzita žiarenia na povrchu absorbátora a μ je tzv. **lineárny súčiniteľ zoslabenia** gama žiarenia. Udáva sa v $[\text{m}^{-1}]$. Lineárny súčiniteľ zoslabenia možno vyjadriť pomocou celkového **účinného prierezu** interakcie žiarenia s látkou, σ , ako $\mu = \sigma n$, kde n je počet atómov v jednotkovom objeme absorbátora. Absorpčný zákon (6.1) má potom tvar:

$$I(x) = I_0 e^{-\sigma n x} \quad (6.2)$$

Okrem lineárneho súčiniteľa zoslabenia sa používa aj tzv. **hmotnostný súčiniteľ zoslabenia**, μ_m , ktorý je definovaný vzťahom:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (6.3)$$

kde ρ je merná hmotnosť látky. Hmotnostný súčiniteľ zoslabenia má rozmer $[\text{m}^2\text{kg}^{-1}]$. Zákon absorpcie má tvar:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu_m \rho x} = I_0 e^{-\mu_m R} \quad (6.4)$$

kde $R = \rho x$ má význam plošnej hustoty látky v $[\text{kgm}^{-2}]$.

Žiarenie gama je absorbované rôznymi mechanizmami, z ktorých najvýznamnejšie sú fotoefekt, Comptonov efekt (pozri úlohu 5) a tvorba elektrón-pozitrónových párov (e^-e^+ párov). Celkový účinný prierez interakcie žiarenia s látkou je preto daný súčtom účinných prierezov pre fotoefekt, σ_f , Comptonov efekt, σ_c a tvorbu e^-e^+ párov, σ_p :

$$\sigma = \sigma_f + \sigma_c + \sigma_p \quad (6.5)$$

Celkový účinný prierez je vo všeobecnosti funkciou energie dopadajúceho žiarenia, E , a protónového čísla absorbátora, Z . Napríklad účinný prierez pre fotoefekt je úmerný Z^6 a s rastúcou energiou dopadajúceho žiarenia prudko klesá.

Absorpciu gama žiarenia v látkach môžeme aj prakticky využiť, napríklad na určovanie merných hmotností látok a v defektoskopii.

2. Zadanie a postup merania

- 1) Určte lineárny súčiniteľ zoslabenia gama žiarenia v železe.
- 2) Určte mernú hmotnosť vybraných materiálov.
- 3) Zistite tvar namodelovaného defektu (dutiny) pomocou absorpcie gama žiarenia.

2.1 Postup

Určenie lineárneho súčiniteľa zoslabenia

Lineárny súčiniteľ zoslabenia gama žiarenia určíme meraním závislosti intenzity žiarenia $I(x)$ ako funkcie hrúbky absorbátora, ktorý sa nachádza medzi zdrojom gama žiarenia a detektorom (vzťah (6.1)). Ako zdroj gama žiarenia použijeme ^{137}Cs s energiou 661 keV. Detektorom bude scintilačná sonda. Absorbátorom budú železné kvádre hrúbky 3 cm. Hrúbku absorbátora meníme pridávaním železných kvádrov. Meranie bez absorbátora predstavuje hodnotu I_0 . Pridávaním železných kvádrov meriame pri hrúbkach $x = 3, 6, 9, 12$ a 15 cm. Pri každej hrúbke absorbátora merajte trikrát a vypočítajte aritmetický priemer. Závislosť $I(x)$, ktorá je exponenciálna, vynesieme v semilogaritmickej mierke, čím získame lineárnu závislosť $\ln[I(x)] = f(x)$. Lineárny súčiniteľ zoslabenia určíme ako smernicu tejto priamky lineárnou regresiou.

Všimnite si, že výsledky meraní sa budú mierne líšiť podľa toho, či budeme kvádre prikladať na stranu detektora alebo na stranu zdroja. Pokúste sa vysvetliť tento rozpor a navrhnúť opatrenia, ktorými by sa uvedený problém dal eliminovať.

Stanovenie mernej hmotnosti látok

Pri určovaní mernej hmotnosti látok pomocou absorpcie gama žiarenia musíme vytvoriť vhodné podmienky merania tak, aby sme vylúčili závislosť účinného prierezu absorpcie od protónového čísla absorbátora. Vychádzame z toho, že proces tvorby e^-e^+ párov má

nenulovú pravdepodobnosť len pre energie dopadajúceho žiarenia väčšie ako 2×511 keV (511 keV je pokojová hmotnosť elektrónu, resp. pozitronu). Pre menšie energie možno účinný prierez pre tvorbu e^-e^+ párov považovať za nulový. Podobne, pre energie väčšie ako 0,5 MeV je dominantným procesom absorpcie Comptonov efekt, t.j. interakcia fotónu gama s kvázi-volným elektrónom látky (pozri úlohu 5). Účinný prierez tohto procesu prepočítaný na jeden atóm je úmerný počtu elektrónov v atóme, t.j. $\sigma_c|_{atom} = Z\sigma_c$, kde σ_c je účinný prierez pre Comptonov efekt na jednom elektróne. Vzťah (6.4) upravíme:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu_m R} = I_0 e^{-\frac{nZ\sigma_c R}{\rho}} = I_0 e^{-\frac{N_A}{A} Z\sigma_c R} \cong I_0 e^{-\frac{1}{2} N_A \sigma_c R} = I_0 e^{-\frac{1}{2} N_A \sigma_c \rho x} \quad (6.6)$$

pričom sme využili vzťahy:

$$n = \rho \frac{N_A}{A} \quad \text{a} \quad \frac{Z}{A} \cong \frac{1}{2} \quad (6.7)$$

kde N_A je Avogadrovo číslo a A je hmotnostné číslo látky.

Zo vzťahu (6.6) dostávame pre mernú hmotnosť:

$$\rho = \frac{1}{\mu_m x} \ln \frac{I_0}{I(x)} \quad (6.8)$$

Ako vyplýva zo vzťahu (6.6), hmotnostný súčiniteľ zoslabenia μ_m nezávisí od protónového ani od hmotnostného čísla látky. Pri vhodnej energii gama žiarenia je konštantný pre širokú škálu prvkov. Vo výpočtoch uvažujte hodnotu $\mu_m = 0,056 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$, ktorá bola získaná ako aritmetický priemer hmotnostných súčiniteľov zoslabenia viacerých materiálov [1].

Výsledok merania je však skreslený tým, že detektor registruje nielen pôvodné žiarenie, ktoré prešlo skúmanou vzorkou bez absorpcie, ale aj rozptýlené gama žiarenie so širším spektrom energie. Na zohľadnenie tejto skutočnosti treba vzťah (6.8) modifikovať:

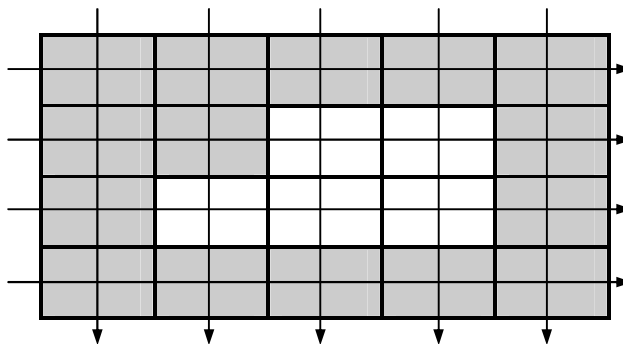
$$\rho = \frac{1}{\mu_m x \varepsilon} \ln \frac{I_0}{I(x)} \quad (6.9)$$

kde ε je korekčný faktor, ktorý získame experimentálne meraním známej vzorky. Ako známu vzorku použite železné kvádre, pričom merná hmotnosť železa je $\rho_{\text{Fe}} = 7890 \text{ kg/m}^3$. Po určení korekčného faktora stanovte mernú hmotnosť neznámeho materiálu.

Defektoskopia

Pri defektoskopii sa využíva zmena hrúbky skúmaného materiálu vplyvom defektov (dutín, bublín, trhlin, prasknutí a pod.). Vašou úlohou bude zistiť (zrekonštruovať) tvar defektu, namodelovaného vedúcim cvičenia, meraním absorpcie gama žiarenia v dvoch na seba

kolmých smeroch neznámej vzorky. Defekt je vytvorení vynechaním niekoľkých železných kociek rozmerov 3 x 3 cm v uzavretej krabici. Na krabici je znázornená sieť 3 x 3 cm tak, ako to ilustruje obr. 6.1. V každom vyznačenom smere urobte tri merania a k jednotlivým smerom merania si zapíšte ich aritmetický priemer. Z nameraných údajov sa pokúste zrekonštruovať tvar defektu.



Obr. 6.1: Meracia sieť a smery meraní pre zisťovanie tvaru namodelovaného defektu.

3. Literatúra

- [1] Cirák, J. a kol.: Jadrovo-fyzikálne metódy a zariadenia. Návod na laboratórne cvičenia, FEI STU Bratislava, 2001.