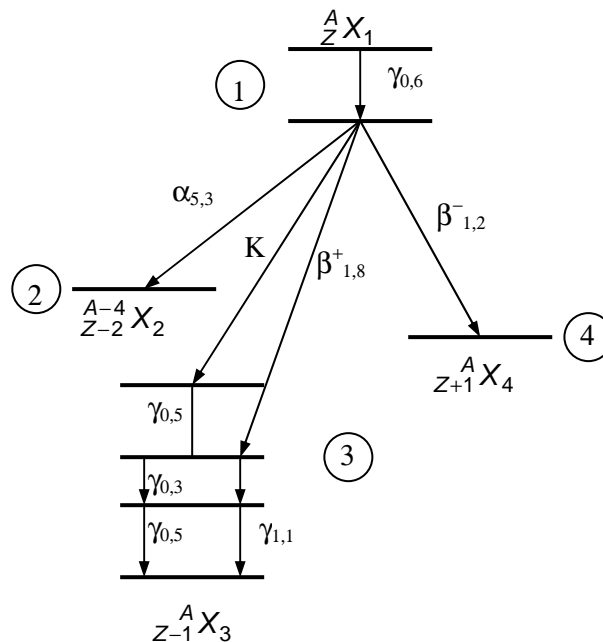


4. Rozpadové schémy rádionuklidov a účinný prierez interakcie žiarenia s látkou

1. Všeobecná časť

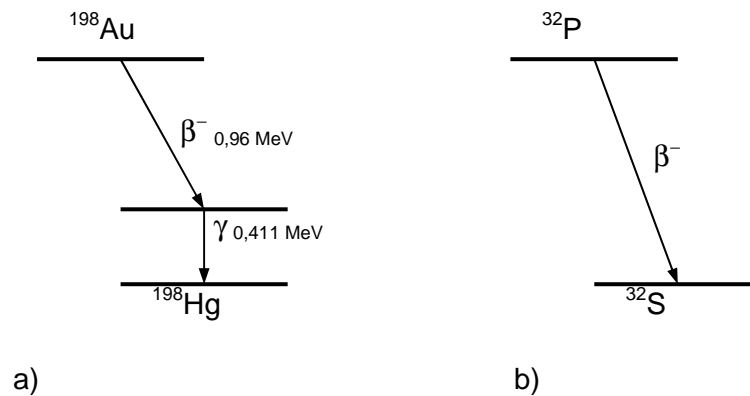
Rozpadová schéma rádionuklidu je energetický diagram, ktorý poskytuje údaje o druhu vyžarovaných častíc alebo kvánt, ich počte pripadajúcom na jedno rozpadajúce sa jadro a energií jednotlivých stavov jadra. Ďalej sú to údaje o východiskovom a konečnom jadre s príslušnými polčasmi premeny.



Obr. 4.1: Všeobecná schéma rozpadu.

Na obr. 4.1 je všeobecný príklad rozpadovej schémy, ktorá zahŕňa všetky údaje a typy premien, s ktorými sa v praxi stretávame. Číselné údaje majú ilustratívny charakter a nereprezentujú rozpadovú schému žiadneho konkrétneho rádionuklidu. Horizontálne čiary **1** predstavujú energetické stavy východiskového jadra X_1 . Horizontálne čiary **2**, **3**, **4** predstavujú energetické stavy konečných jadier X_2 , X_3 a X_4 vzniknutých po premene. Ak pri premene vzniká atóm, ktorého jadro sa nachádza vo vzбудenom stave (atóm X_3), jeden z možných prechodov do základného stavu je vyžiarovanie fotónu gama. Energetické hladiny týchto prechodových stavov v schéme značíme pod sebou ležiacimi horizontálnymi čiarami. Pri β^- premene, šípka medzi horizontálnymi čiarami smeruje vpravo, pri K-záchypte a β^+

premene vľavo a pri α rozpade taktiež vľavo. Vedľa šípky je okrem označenia príslušnej premeny číslo, vyjadrujúce energiu α -častice a fotónu gama a pri β -premene udáva toto číslo maximálnu energiu beta spektra. Okrem toho sa tu uvádza tiež pravdepodobnosť premeny v percentách, niekedy i spin, polčas premeny a koeficient vnútornej konverzie.



Obr. 4.2: Schémy rozpadu: a) ^{198}Au , b) ^{32}P .

Na obrázku 4.2a je príklad rozpadovej schémy jadra izotopu zlata ^{198}Au . Jadro ^{198}Au vyžiari β časticu (maximálna energia beta spektra je $0,96 \text{ MeV}$), čím prechádza na vzбудenú hladinu jadra ^{198}Hg s energiou $0,411 \text{ MeV}$. V tomto vzbudenom stave existuje jadro približne $4 \cdot 10^{-9} \text{ s}$. Následne prechádza do základného stavu, pričom vyžiari fotón gama s energiou $0,411 \text{ MeV}$.

Existujú prípady, keď novovzniknuté jadro je hneď v základnom stave. Napríklad jadro izotopu fosforu ^{32}P (obr. 4.2b) sa po vyžiarení beta častice mení na jadro síry ^{32}S v základnom stave.

Ako už bolo spomenuté, pri radiačnej premene podľa určitej schémy dochádza k vyžiareniu častíc alfa, beta, fotónu gama, popr. neutrónu, ktoré interagujú s okolitým prostredím alebo sú registrované vhodným detektorom žiarenia. Tieto rádionuklidy existujú v prirodzenej forme alebo ich môžeme pripraviť umelo. K umelej príprave potrebujeme zdroj neutrónov, ktorým ožarujeme stabilné izotopy. Dôsledkom interakcie neutrónov so stabilným izotopom prvku je vznik rádionuklidu, ktorý sa opäť rozpadá podľa určitej charakteristickej rozpadovej schémy. Mierou pravdepodobnosti uskutočnenia interakcie žiarenia s látkou je účinný prierez.

Mikroskopický účinný prierez neutrónu σ vyjadruje pravdepodobnosť interakcie medzi jadrami atómu, ktoré sa nachádzajú v jednotkovej ploche a neutrónom, ktorý prechádza touto plochou. Základnou jednotkou mikroskopického účinného prierezu je m^2 . Staršou jednotkou bol barn ($1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$). Makroskopický účinný prierez Σ vyjadruje

pravdepodobnosť interakcie medzi všetkými jadrami, ktoré sa nachádzajú v jednotkovom objeme s jedným neutrónom, pričom:

$$\Sigma = \sigma N \quad (4.1)$$

kde N je počet atómov pripadajúcich na jednotku objemu, pričom platí:

$$N = \frac{N_A}{A} \rho \quad (4.2)$$

kde N_A je Avogadrovo číslo, A je atómová hmotnosť a ρ merná hmotnosť. Makroskopický účinný prierez $\Sigma = \sigma N$ sa udáva v jednotkách [m^{-1}].

Ak pri zachytení neutrónu s účinným prierezom σ a s fluenciou neutrónov Φ vzniká rádionuklid, potom pre maximálnu aktivitu jednotkového objemu vzorky A_m platí:

$$A_m = \sigma N \Phi \quad (4.3)$$

pričom aktivita A_m sa nazýva merná aktivita a má rozmer [$\text{s}^{-1}\text{m}^{-3}$].

Ak pri rovnakej fluencii Φ uvažujeme pomer aktivít dvoch rádionuklidov, dostaneme vzťah:

$$\frac{A_1}{A_2} = k \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad (4.4)$$

kde k je konštanta, ktorá zahrňuje pomer merných hmotností a atómových hmotností jednotlivých rádionuklidov. Zo vzťahu (4.4) vyplýva, že na základe merania aktivít dvoch rôznych rádionuklidov môžeme určiť pomer ich účinných prierezov, poprípade ak jeden poznáme identifikovať druhý.

V tejto úlohe sa budeme zaoberať okrem analýzy rozpadových schém, aj určovaním podielu účinných prierezov rádionuklidov ^{55}Mn a ^{51}V . Vzorky predstavujú zlúčeniny MnO_2 a V_2O_5 . Pri ožarovaní týchto vzoriek neutrónmi vznikajú rádionuklidy ^{56}Mn a ^{52}V . Hmotnostná koncentrácia Mn v zlúčenine sa rovná pomernej atómovej hmotnosti z molekulovej hmotnosti MnO_2 t. j. 0,63. Podobne určíme aj hmotnostnú koncentráciu vanádu.

Pri meraní treba zachovať rovnakú geometriu a vzorky ožarovať vzhľadom na veľkosti ich poločasov. Vzorku s nuklidom ^{55}Mn treba ožarovať minimálne 9 hodín ($T_{1/2} \text{Mn} = 2,89 \text{ h}$) a vzorku s nuklidom ^{51}V minimálne 15 minút ($T_{1/2} \text{V} = 3,78 \text{ min}$).

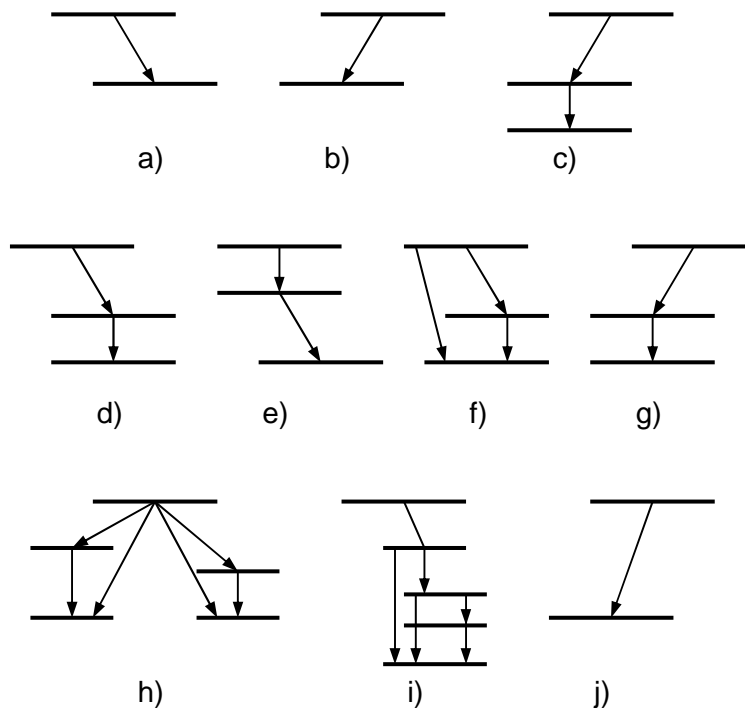
Pomer účinných prierezov vypočítame zo vzťahu:

$$\frac{N(\text{Mn}) - N_p}{N(\text{V}) - N_p} = k \frac{\sigma(\text{Mn})}{\sigma(\text{V})} \quad (4.5)$$

kde N je počet nameraných impulzov od jednotlivých rádionuklidov, N_p je počet impulzov pozadia a k je konštanta, ktorej význam je daný vzťahom (4.4).

2. Zadanie a postup merania

- 1) Napíšte pomocou tabuliek a databázy izotopov, ktoré prvky môžu vznikáť rozpadom nasledovných rádionuklidov: ^{14}C , ^{35}S , ^{45}Ca , ^{40}K , ^3H a ^{64}Cu .
- 2) Vysvetlite, o aký druh rozpadu ide v rozpadových schémach na obr. 4.3.
- 3) Nakreslite podľa tabuliek rozpadové schémy ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{24}Na .
- 4) Zmerajte veľkosť pozadia a počet impulzov od vzoriek obsahujúcich rádionuklidy ^{56}Mn a ^{52}V .
- 5) Podľa vzťahu (4.5) vypočítajte pomer účinných prierezov.
- 6) Namerané výsledky porovnajte s tabuľkovými hodnotami účinných prierezov pre ožarovanie tepelnými neutrónmi: $\sigma(\text{Mn}) = 13 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$, $\sigma(\text{V}) = 4,5 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$.



Obr. 4.3: Rozpadové schémy neznámych nuklidov.

3. Literatúra

- [1] Hodgson, P.E., Gadiali, E., Gadiali-Erba, E.: Introductory Nuclear Physics, Clarendon Press, Oxford, 1997.