

29. Meranie celkového účinného prierezu interakcie rýchlych neutrónov s atómovými jadrami a určenie polomeru jadier

1. Všeobecná časť

Pokusy získať presnejšie predstavy o rozmeroch jadier sú spojené s veľkými ťažkosťami. Spôsobuje to fakt, že jadrá pozostávajú z mnohých častíc (nukleónov), ktoré sú v neustálom pohybe a riadia sa zákonmi kvantovej mechaniky. Následkom tohoto pohybu sa povrch jadra navonok javí „rozmazaným“. Bolo navrhnutých niekoľko odlišných metód na určenie polomeru jadier, ktorých výsledky sa rádovo zhodujú. Dostatočne presne možno určiť polomer jadier pri skúmaní interakcie rýchlych neutrónov s atómovými jadrami.

Pravdepodobnosť interakcie častice s inou časticou alebo s jadrom (terčíkom) charakterizujeme veličinou, ktorú nazývame účinný prierez. Účinný prierez interakcie častica – terčík závisí od charakteru skúmanej interakcie a tiež od energie dopadajúcej častice. Účinný prierez môže byť všeobecne väčší, rovný alebo aj menší ako geometrický prierez častice, resp. jadra.

Účinný prierez interakcie rýchlych neutrónov s atómovými jadrami, σ , môžeme určiť nasledovným spôsobom:

Označme N ako počet neutrónov dopadajúcich na jednotkovú plochu (napríklad 1 m^2 alebo 1 cm^2) tenkého terčika hrúbky δ (obr. 29.1a). Počet častíc dopadajúcich na jednotkovú plochu sa obyčajne nazýva *fluencia* a jej jednotkou je najčastejšie počet častíc/cm². Účinný prierez interakcie neutrónov s jadrom bude potom daný vzťahom:

$$\sigma = \frac{dN}{Nn\delta} \quad (29.1)$$

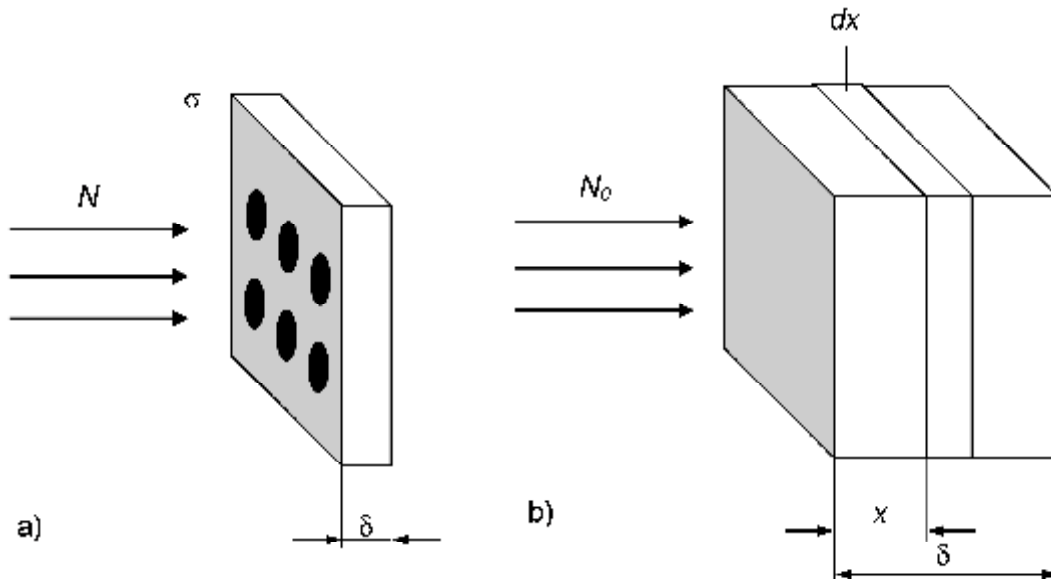
kde dN je počet interakcií, n – koncentrácia, t.j. počet jadier v jednotke objemu terčika a δ – hrúbka terčika.

Z výrazu (29.1) vyplýva, že relatívny počet interagujúcich neutrónov dN/N je daný plochou terčika $dS = \sigma n \delta$, ktorá je zaplnená jadrami, pričom účinnému prierezu σ pripisujeme fyzikálny zmysel geometrického prierezu jadra. Treba poznamenať, že takto definovaný účinný prierez σ sa presnejšie nazýva *mikroskopický účinný prierez* (nakoľko existuje aj pojem *makroskopického účinného prierezu*).

V prípade hrubého terčika (obr. 29.1b) sa hustota toku neutrónov mení s jeho hrúbkou x a počet neutrónov, ktoré prešli terčikom vyjadríme diferenciálnou rovnicou pre hrúbku vrstvy terčika dx v hĺbke x :

$$dN = -N_x n \sigma dx \quad (29.2)$$

kde N_x je počet neutrónov v hĺbke x a dx je hrúbka vrstvy.



Obr. 29.1: Schéma určovania účinného prierezu na tenkom (29.1a) a hrubom terčiku (29.1b).

Ak počiatkový počet dopadajúcich neutrónov na povrch terča je N_0 , potom riešenie diferenciálnej rovnice dostaneme v tvare:

$$N_x = N_0 \exp(-n\sigma x) \quad (29.3)$$

Pretože neutróny sú elektricky neutrálne, pri prechode látkou prakticky neinteragujú s elektrickým obalom atómov ani s elektrickým nábojom jadra. Základnými procesmi, ktoré spôsobujú zoslabenie (atenuáciu) zväzku neutrónov, sú preto pohltenie (absorpcia) a rozptyl neutrónov pri ich zrážkach s jadrami atómov. Pre pomalé a tepelné neutróny je základným procesom zoslabenia zväzku záchyt neutrónov jadrom. Pre rýchle neutróny je dominantným procesom rozptyl, takže pre danú energiu neutrónov je účinný prierez rozptylu, σ_s , oveľa väčší ako účinný prierez záchytu, σ_0 . Rozptyl rýchlych neutrónov na jadrách môže byť pružný alebo nepružný, pričom každý z nich je charakterizovaný príslušným účinným prierezom. Účinný prierez pružného rozptylu označujeme ako σ_{se} (index „se“ pochádza z anglických slov *elastic scattering*) a účinný prierez nepružného rozptylu označujeme ako σ_{si} (inelastic

scattering). Celkový účinný prierez rozptylu bez ohľadu na konkrétny typ, resp. mechanizmus rozptylu je potom daný súčtom účinných prierezov pre pružný a nepružný rozptyl:

$$\sigma = \sigma_s = \sigma_{se} + \sigma_{sj} \quad (29.4)$$

Ak stotožníme obidva z týchto účinných prierezov s geometrickým prierezom jadra πR^2 , potom celkový účinný prierez bude:

$$\sigma = 2\pi R^2 \quad (29.5)$$

kde R je polomer jadra.

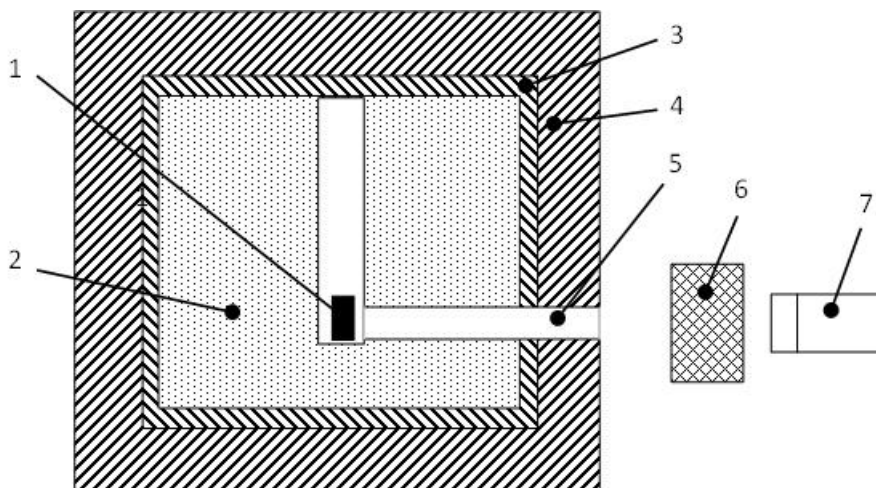
Na určenie účinného prierezu interakcie rýchlych neutrónov s jadrami treba zmerať zoslabenie intenzity neutrónového toku po prechode hrúbkou x meraného materiálu. Účinný prierez potom určíme pomocou vzťahu:

$$\sigma = -\frac{\ln \frac{N_x}{N_0}}{nx} \quad (29.6)$$

ktorý sa musí rovnať $\sigma = 2\pi R^2$, odkiaľ pre polomer jadra dostaneme:

$$R = \sqrt{\frac{\sigma}{2\pi}} \quad (29.7)$$

Experimentálne zariadenie je schematicky znázornené na obr. 29.2.

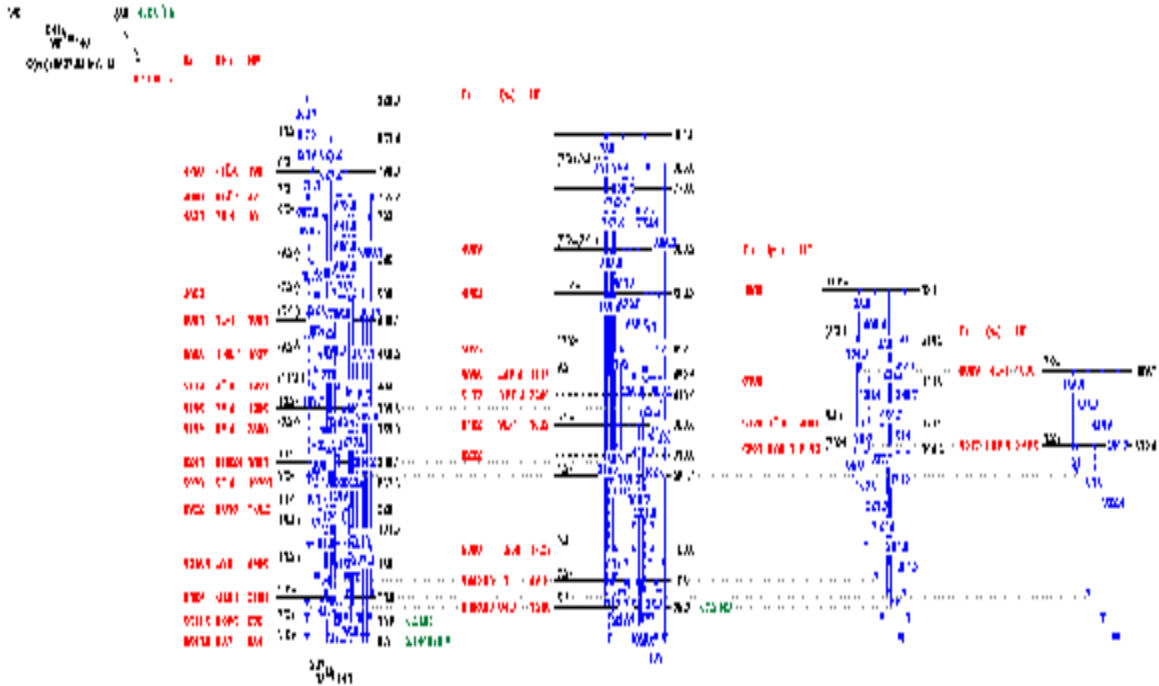


Obr. 29.2: Usporiadanie experimentu.

Zariadenie pozostáva zo zdroja rýchlych neutrónov (1), ktorý je uložený v parafínovom bloku (2). Použitý je tzv. Am/Be (amerícium-berýliový) zdroj neutrónov, ktorý využíva jadrovú reakciu:



${}^{241}_{95}\text{Am}$ slúži ako zdroj α -častíc. Jeho rozpadová schéma je na obrázku 29.3 a základné charakteristiky premeny na obrázku 29.4.



Obr. 29.3: Rozpadová schéma nuklidu ${}^{241}_{95}\text{Am}$.

Results:

Dataset #1:

Author: M. S. Basunia Citation: Nuclear Data Sheets 107, 3323 (2006)

Parent Nucleus	Parent E(level)	Parent J^π	Parent $T_{1/2}$	Decay Mode	GS-GS Q-value (keV)	Daughter Nucleus	Decay Scheme	ENSDF file
${}^{241}_{95}\text{Am}$	0.0	5/2-	432.6 y 6	α : 100 %	5637.82 12	${}^{237}_{93}\text{Np}$		

Obr. 29.4: Základné charakteristiky premeny nuklidu ${}^{241}_{95}\text{Am}$.

Najväčší výťažok (84.8%) pri rozpade ^{241}Am majú α -častice s energiou 5.486 MeV, ako to dokumentuje výpis z databázy Nudat2 (obrázok 29.5). Tieto α -častice majú dostatočnú energiu na to, aby indukovali jadrovú reakciu (29.8), ktorej produktom sú rýchle neutróny.

Alphas:

Energy (keV)	Intensity (%)	Dose (MeV/Bq-s)
4758	5E-6 % 5	2.4E-7 24
4800	8.6E-5 %	4.128E-6
4834	7E-4 %	3.384E-5
5004	1E-4 %	5.004E-6
5068	1.4E-4 %	7.0952E-6
5089	4.0E-4 % 4	2.04E-5 20
5096	4.0E-4 % 4	2.04E-5 20
5114	4E-4 %	2.0456E-5
5137	3.2E-4 %	1.644E-5
5155	7E-4 %	3.609E-5
5178	3E-4 %	1.553E-5
5182	9E-4 %	4.664E-5
5192	6E-4 %	3.115E-5
5217	1.0E-5 % 10	5E-7 5
5223	0.0013 %	6.79E-5
5244	0.0024 %	1.259E-4
5279	5E-4 %	2.64E-5
5322	0.015 % 5	8E-4 3
5388	1.660 % 20	0.0894 11
5416.5	0.0100 % 10	5.4E-4 5
5442.80 13	13.1 % 3	0.713 16
5469	0.020 % 20	0.0011 11
5485.56 12	84.8 % 5	4.65 3
5511.5	0.225 % 5	0.0124 3
5544.5 16	0.37 % 3	0.0205 17

Obr. 29.5: α -častice emitované pri premene nuklidu ^{241}Am .

Parafínový moderátor neutrónového zdroja je obložený kadmíom (3) a olovom (4), ktoré tvoria jeho tienenie. Rýchle neutróny sú vyvedené kanálom (5), ktorý neobsahuje parafín, a teda neutróny v ňom prakticky nebudú spomalené. Zväzok neutrónov prechádza meraným materiálom (6). Na registráciu neutrónov slúži detektor (7), ktorý je napojený na jednokanálový analyzátor na meranie početnosti impulzov.

2. Zadanie

- 1) Zmerať pozadie. Detektor pritom umiestniť mimo osi kanála.
- 2) Zmerať počet dopadajúcich neutrónov na detektor N_0 bez rozptyľujúcej vzorky.
- 3) Postupne zmerať N_x pre rôzne hrúbky a rôzne materiály.
- 4) Vypočítať celkový účinný prierez ako smernicu závislosti $\ln \frac{N_x}{N_0} = f(x)$ pre jednotlivé materiály.
- 5) Vypočítať polomery jadier a porovnať namerané hodnoty s hodnotami vypočítanými podľa vzťahu:

$$R = (1.37A^{1/3} + 1.3) \times 10^{-15} \text{ m} \quad (29.9)$$

kde A je hmotnostné číslo prvku príslušného materiálu.