

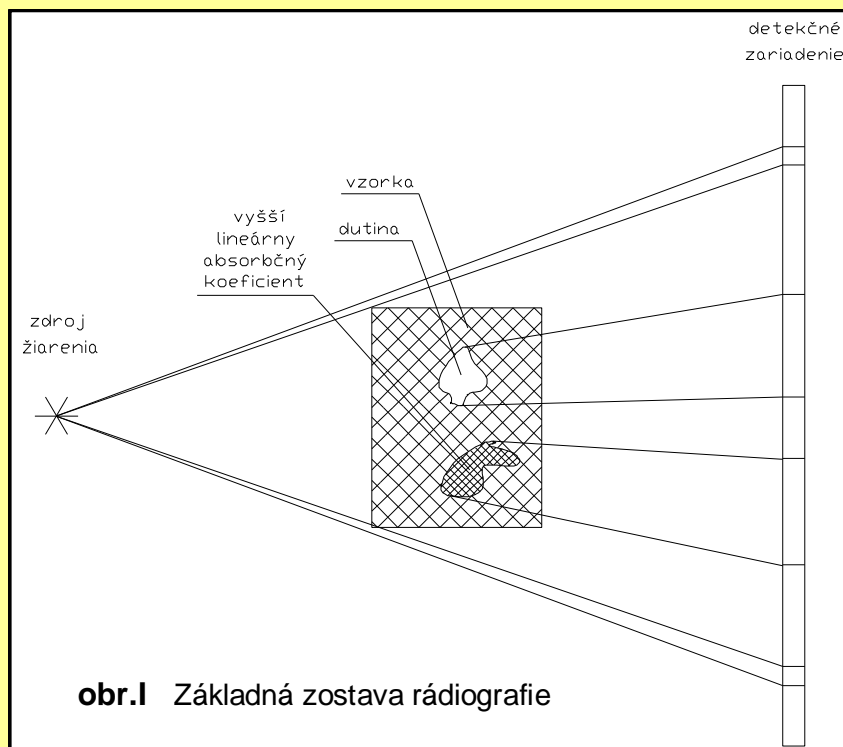
PRINCÍP NEUTRÓNOVEJ RÁDIOGRAFIE

Všetky rádiografické metódy využívajúce fotóny röntgenového žiarenia, fotóny gama žiarenia, alebo neutróny, sú založené na rovnakom princípe (obr. I). Skúmaný objekt je umiestnený do dráhy zväzku častíc. Podľa miery plošného zoslabenie toku častíc, prechádzajúcich cez skúmaný objekt, je možné určiť nehomogenity vo vzorke. Primárnou požiadavkou je podmienka, aby plocha prierezu zväzku častíc prevyšovala priečny rez skúmaných objektov a aby detekčný systém bol schopný s dostatočným rozlíšením reagovať na plošnú zmenu hustoty toku dopadajúcich častíc.

Nech prúd častíc, charakterizovaný hustotou prúdu J_0 ($J = n \cdot v$) dopadá na skúmanú vzorku. Zoslabenie prúdu častíc J popisuje exponenciálny zákon

$$J = J_0 \exp(-\mu x),$$

kde μ [cm^{-1}] je lineárny absorpčný koeficient a x [cm] je hrúbka objektu v mieste prechodu častíc. Lineárny absorpčný koeficient môžeme vyjadriť cez totálny makroskopický účinný prierez $\Sigma = N \sigma$, kde N je hustota jadier v jednotke objemu a σ totálny mikroskopický účinný prierez, zahrňujúci rozptyl i absorpciu častíc. Často sa používa aj hmotnostný absorpčný koeficient $\delta = \Sigma/\rho$ [cm^2g^{-1}] a hrúbka vzorky sa vyjadruje v hmotnostných jednotkách na jednotku plochy. Pomer J/J_0 sa nazýva koeficient priepustnosti (transmisie).



Ak zväzok častíc intenzity J_0 prechádza cez vzorku s hrúbkou t , ktorá v niektorej časti obsahuje dutinu s hrúbkou d , zoslabenie zväzku bude rôzne v závislosti od toho, či dutina sa nachádza alebo nenachádza v dráhe častíc. V prvom prípade efektívna hrúbka materiálu bude menšia ($t - d$). Naopak, ak vzorka obsahuje materiál s vyššou hodnotou absorpčného koeficientu, zoslabenie zväzku bude výraznejšie. Pre časť neobsahujúcu defekty je možné napísať

$$J = J_0 \exp(-\mu t),$$

pre časť obsahujúcu dutinu s hrúbkou d

$$J_d = J_0 \exp\{-\mu (t - d)\}$$

a pre časť obsahujúcu materiál s vyšším lineárnym absorpčným koeficientom μ_m s hrúbkou d

$$J_m = J_0 \exp\{-\mu(t-d) - \mu_m d\}.$$

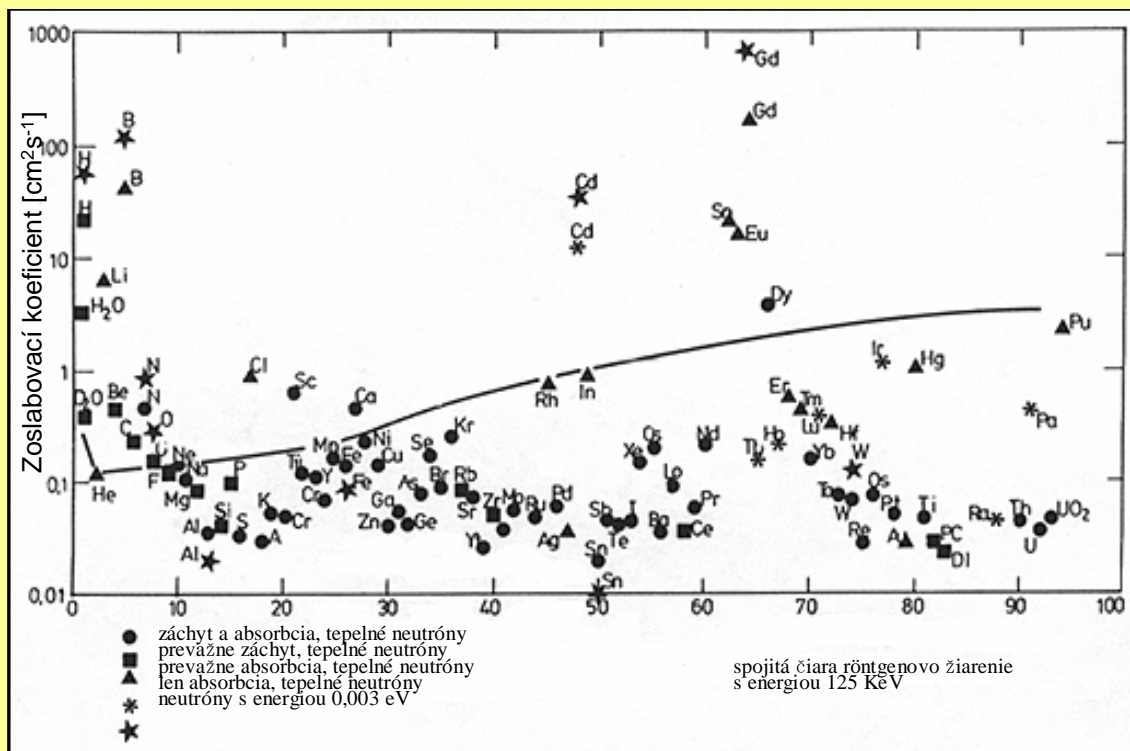
Vzájomné porovnanie intenzít J je nasledovné: $J_d < J < J_m$. Všeobecne, zoslabenie toku častíc prechádzajúcich cez vzorku v oblasti defektov v tvare bublín (napr. praskliny) bude menšie ako v ostatnej časti vzorky a výraznejšie, ak obsahuje materiál s vyššou hustotou, vyšším lineárnym absorpčným koeficientom.

V prípade neutrónovej rádiografie dominujúcim faktorom je hodnota makroskopického účinného prierezu. Hodnoty účinného prierezu absorpcie neutrónov sa môžu výrazne meniť v závislosti od energie dopadajúcich neutrónov a spravidla je rôzna aj pre rôzne izotopy toho istého prvku.

Prevažná väčšina prvkov sa skladá z niekoľkých izotopov a každý z nich má odlišnú hodnotu mikroskopického účinného prierezu. Okrem toho, vo väčšine prípadov vzorka obsahuje niekoľko prvkov. Existujúce banky údajov mikroskopických účinných prierezov sa vzťahujú na jednotlivé izotopy, na základe ktorých môžeme určiť makroskopický účinný prierez vzorky Σ_c podľa vzťahu

kde suma zahŕňa každý prvok a jeho izotopy.

$$\Sigma_c = \sum_i N_i \sigma_i,$$

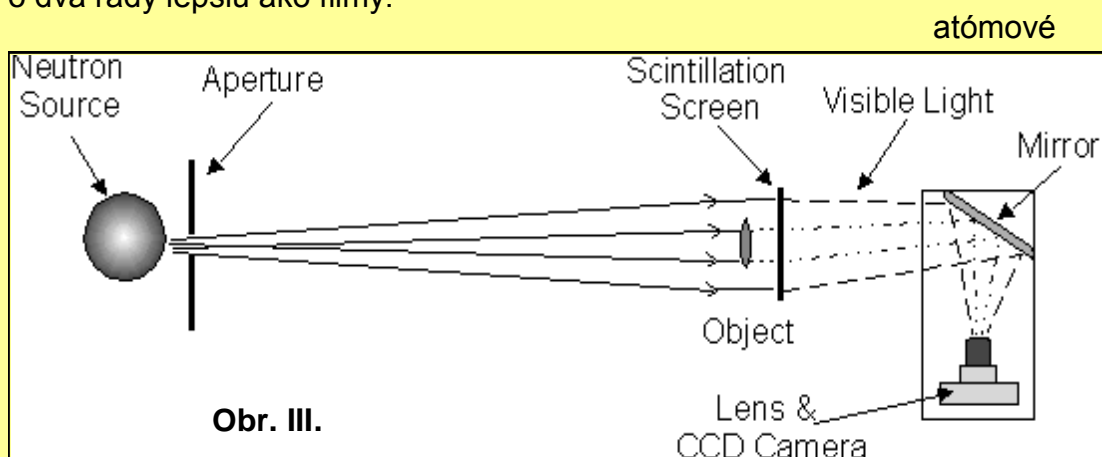


Obr. II Závislosť hmotnostného absorpčného koeficientu od atómového čísla pre tepelné neutróny a röntgenové žiarenie

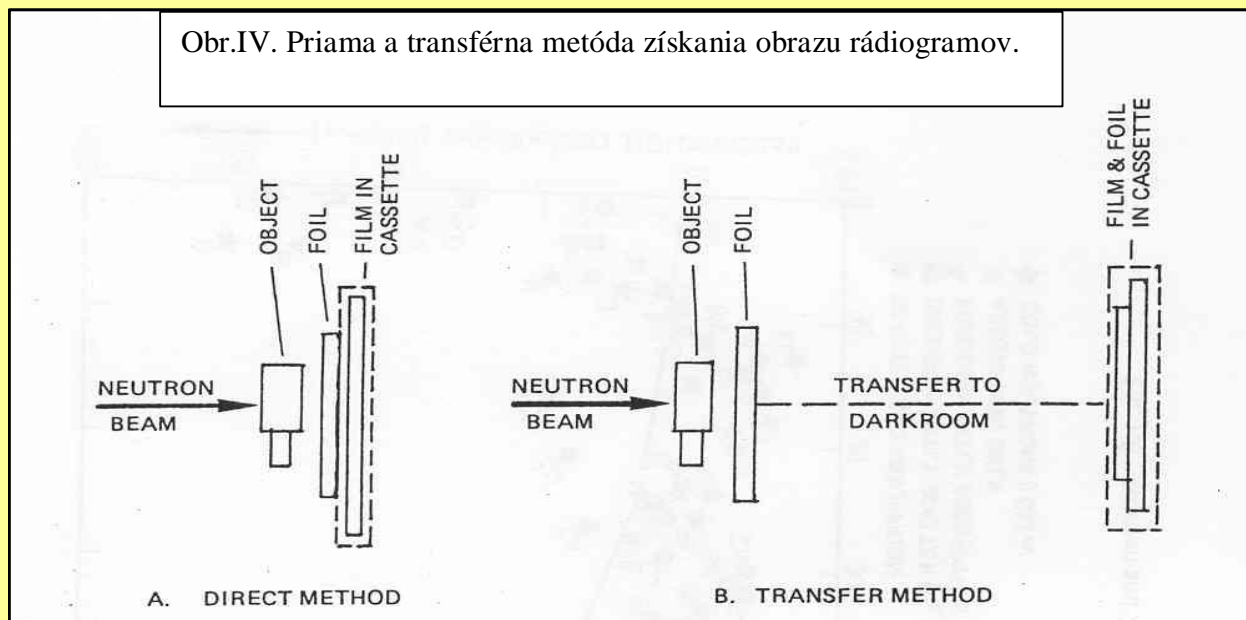
Hodnota mikroskopických účinných prierezov σ_i sa zväčšuje so znižovaním energie neutrónov a preto pre účely neutrónovej rádiografie sa najčastejšie využívajú tzv. pomalé neutróny, ktoré zahrňujú tepelné (termálne) a epitermálne neutróny. Na obr. 2 sú znázornené hodnoty hmotnostného absorpčného koeficientu v závislosti od atómového čísla prvkov pre tepelné neutróny. Plná čiara na obrázku znázorňuje uvedenú závislosť pre röntgenové žiarenie s energiou 125 keV, ktorá monotónne vzrastá s atómovým číslom prvku Z . To znamená, že dva susedné prvky budú mať veľmi blízke hodnoty lineárneho absorpčného koeficientu μ a metódou röntgenovej rádiografie sú ťažko rozlíšiteľné. Na rozdiel od röntgenového žiarenia hodnoty hmotnostného absorpčného koeficientu nevykazujú monotónnu zmenu a často pozorujeme, že dva susediace prvky, napr. B a C, majú aj niekoľko rádový rozdiel v hodnotách μ . Vodík, obsiahnutý v skúmanom objekte silno zoslabuje neutróny, čo umožňuje identifikovať gumené a plastické materiály umiestnené v kovových obaloch. Na druhej strane prvky typu Al, W, Pb majú nízku hodnotu μ a v skúmaných objektoch sú ťažko identifikovateľné.

V odborných kruhoch sa ustálil názor, že neutrónová a röntgenová rádiografia sú vzájomne komplementárne metodiky. Röntgenové žiarenie je intenzívne absorbované materiálmi s vysokým Z a ľahké prvky sú prakticky priepustné pre tento druh žiarenia. Pre neutrónové žiarenie je to takmer opačne. Neutróny ľahko prenikajú cez materiál kovových telies a sú schopné dobre zobrazíť stav vnútorných gumených alebo polyetylénových komponentov. Pre názornosť je na obr. V röntgenový rádiogram a neutrónový rádiogram toho istého fotoaparátu. Porovnaním rádiogramov je možné získať predstavu, aké informácie o vnútornej konštrukcii kontrolovaného predmetu nesú jednotlivé typy rádiogramov. Treba však zdôrazniť, že pomocou röntgenového žiarenia je veľmi komplikované analyzovať rádioaktívne vzorky. Prakticky jedinou metodikou analýzy rádioaktívnych objektov je neutrónová rádiografia.

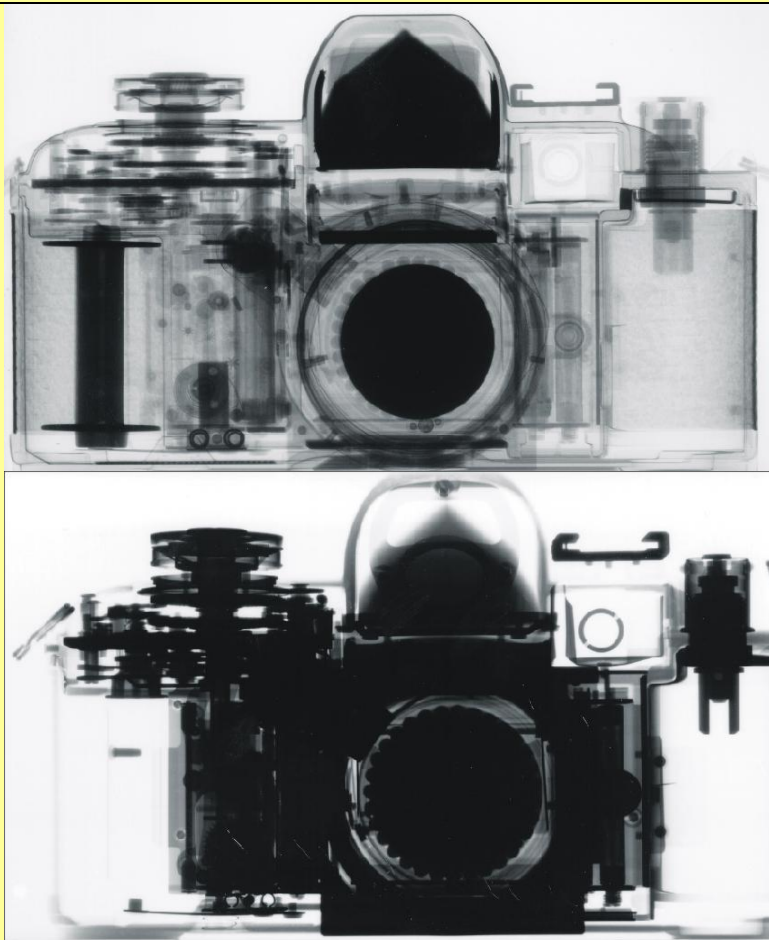
Vo všeobecnosti konvertor zabezpečuje transformáciu dopadajúceho neutrónu na priamo registrovatelnú časticu, akou je alfa častica, beta častica alebo gama kvantum. Výsledná sekundárna radiácia je monitorovaná a zaznamenaná na fotografický alebo nitrocelulózový film. Používajú sa tiež scintilačné alebo polohovo citlivé ionizačné detektory. Posledné majú citlivosť až o dva rády lepšiu ako filmy.



Obr.IV. Priama a transférna metóda získania obrazu rádiogramov.



V týchto zariadeniach fluencia neutrónov môže byť o dva rády nižšia a v poslednom desaťročí sú uprednostňované. To je skupina tzv. priamo-expozičných detektorov označovaná ako **priama metóda** (direct exposure technique). V nepriamo expozičných metodikách označovaných ako **transférna metóda** používajú sa fólie aktivačných detektorov. Potom sekundárna radiácia môže byť zaznamenaná na film v priestore vzdialenom od testovaného objektu, čo je zvlášť potrebné pri kontrole vysoko rádioaktívnych vzoriek. Obr. V. ilustruje principiálne rozdiely medzi obidvoma metodikami.



Obr. V. Röntgenový (hore) a neutrónový (dole) rádiogram fotoaparátu



Návrat z acrobat readera - ✖ (zatvorením okna)
