

A8 ABSORPCE β -ZÁŘENÍ

23.8.1991

Pavel Cejnar

1 ÚVOD

Při průchodu elektronů energií $10^4 - 10^7$ eV (elektrony emitované v β -rozpadech) látkou dominující tyto procesy

1. pružné srážky s jádry
2. interakce s atomárními elektrony, které vedou k excitaci nebo ionizaci atomů.

Svazek elektronů mění své energetické a úhlové rozdělení.

Poměr počtu elektronů registrovaných za určitý čas detektorem stíněným nějakou vrstvou materiálu ku počtu elektronů registrovaných nestíněným detektorem je ovlivněn oběma zmíněnými procesy: Část elektronů se v materiálu zabrzdí až na tepelné energie, část je odchýlena a také nedopadá do detektoru. Poněkud nelogicky se tomu říká absorpce.

Absorpci monoenergetických elektronů v hliníku ukazuje obr.1. Osa x udává místo tloušťky d absorpční vrstvy veličinu $d \cdot \rho$, kde ρ je hustota použitého materiálu (hliníku). Tato veličina má rozměr plošné hmotnosti a používá se proto, aby se eliminovala triviální závislost absorpce na hustotě absorbátoru.

Obecně tvar absorpční křivky závisí na energetickém spektru absorbovaných elektronů. Absorpce elektronů se spojitým spektrem emitovaných v β -rozpadu se řídí přibližně exponenciálním zákonem

$$N(d) = N(0) \exp\left(-\frac{\mu}{\rho} d\right) \quad (1)$$

($N(d)$ je počet za určitý čas registrovaných elektronů při použití absorbátoru tloušťky d , μ je konstanta pro daný zářič a absorbující materiál). Příklad takové absorpce ukazuje obr.2. Počet registrovaných elektronů klesá se vzrůstající tloušťkou absorbátoru až k intenzitě pozadí, obvykle určené γ -komponentou zářiče a elektrony rozptýlenými na okolním materiálu. Po odečtení tohoto pozadí je možné určit pro daný zářič a daný materiál absorpční koeficient μ v rovnici (1) a také maximální dolet elektronů R_β , tj. tloušťku materiálu, za níž se β -záření použitého zdroje již nedostane (tato veličina dokládá to, že vztah (1) platí jen přibližně).

Obě tyto veličiny lze využít k určení maximální energie E_0 emitovaného β -spektra: Logaritmus μ/ρ lineárně klesá s logaritmem E_0 (obr.3). Pro hliník platí

$$\frac{\mu}{\rho} = 22 \cdot \left(\frac{E_0}{\text{MeV}}\right)^{-4/3} \quad (2)$$

Závislost R_β na E_0 znázorňuje obr. 4. Existuje řada empirických analytických vztahů pro $R_\beta(E_0)$. Například:

$$\frac{R_\beta \cdot \rho}{g \cdot \text{cm}^{-2}} = \begin{cases} 0.407 (E_0 / \text{MeV})^{1.38} & 0.15 < E_0 \leq 0.8 \text{ MeV} \\ 0.542 (E_0 / \text{MeV}) - 0.133 & E_0 > 0.8 \text{ MeV} \end{cases} \quad (3)$$

2 ÚKOL

V této úloze se používá zářič ^{90}Sr , který se rozpadá podle schématu na obr. 5. Spektrum emitovaných elektronů je superpozicí dvou β -spekter a absorpce bude mít tvar

$$N(d) = N^{(1)}(0) \exp\left(-\frac{\mu(E_0^{(1)})}{p} d\right) + N^{(2)}(0) \exp\left(-\frac{\mu(E_0^{(2)})}{p} d\right) + N_B \quad (4)$$

Kde $N^{(1)}(0)$ resp. $N^{(2)}(0)$ je počet elektronů z 1. resp. 2. rozpadu registrovaný za zvolený interval, $E_0^{(1)}$ resp. $E_0^{(2)}$ je maximální energie 1. resp. 2. β -spektra a N_B je pozadí.

Vaším úkolem je určit hodnoty $E_0^{(1)}$ a $E_0^{(2)}$ z naměřené absorpční křivky, a to jak z absorpčních koeficientů, tak z maximálních doletů.

K dispozici budete mít okénkový Geiger-Müllerův detektor, soupravu s čítačem a sadu hliníkových absorbátorů. Vnější pozadí bude redukováno olověným stíněním zářiče-absorbátoru-detektoru.

3 PRAKTICKÉ POKYNY

Měří se v rozsahu tloušťek hliníkového absorbátoru 0 - 1.1 g.cm^{-2} . Tloušťka absorbátoru se zvětšuje přidáváním tenkých plíšků. V intervalu 0 - 150 mg.cm^{-2} se přidávají folie tloušťky $\sim 10 \text{mg.cm}^{-2}$, v oboru 150 - 1100 mg.cm^{-2} stačí postupovat po $\sim 100 \text{mg.cm}^{-2}$.

Absorpce nezávisí jen na tloušťce D z obr. 6, na níž spojnice zdroj-detektor protíná absorbátor, ale také na prostorovém rozložení absorbátoru. Na to je třeba dbát při pokládání plíšků na sebe (několik plíšků daného tvaru a dané sumární tloušťky by mělo být ekvivalentní jednomu tlustému absorbátoru stejného tvaru a tloušťky).

Kvůli zachování stejné relativní statistické chyby u všech naměřených bodů absorpční křivky je vhodné místo počtu impulsů za zvolený časový interval měřit čas potřebný k registraci určitého počtu (1000) impulsů a z něho určit počet impulsů za jednotku času.

Pozadí N_B se určuje měřením s tlustým absorbátorem (5 - 6 mm). Naměřené hodnoty je totiž nutné korigovat i na signál způsobený elektrony rozptýlenými na stěnách krytu, což by nebylo možné obvyklým měřením pozadí bez zářiče. Určené pozadí by mělo být blízké signálu naměřenému pro $d \cdot p \geq 1100 \text{mg.cm}^{-2}$. Rozdílnost tvarů tlustého monolitického absorbátoru a absorbátoru složeného z tenkých destiček ale může způsobit podstatnou odlišnost obou hodnot. Měření pozadí má zásadní význam pro správné určení absorpčních koeficientů obou komponent β -záření (viz dále).

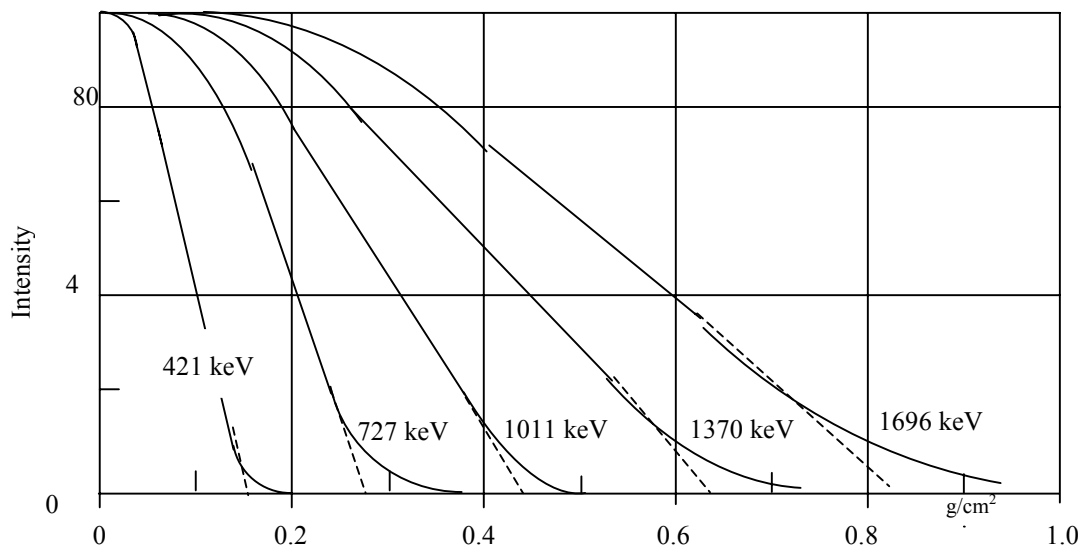
Při zpracování naměřených dat by správně měly být metodou nejmenších čtverců zároveň určeny všechny 4 volné parametry $\mu^{(1)} = \mu(E_0^{(1)})$, $\mu^{(2)} = \mu(E_0^{(2)})$, $N^{(1)}(0)$ a $N^{(2)}(0)$

z rovnice (4). Jednodušší je ale jiný postup, který využívá toho, že β -záření z 1. a 2. rozpadu se značně liší svou energií. Absorpční koeficient tvrdší komponenty lze získat lineární regresí několika hodnot naměřené závislosti $\ln(N(d) - N_B)$ pro velká d (200 - 800 mg.cm^{-2}), kde se již neuplatňuje měkká komponenta. Absorpční křivka tvrdší komponenty $N'(d)$ se spolu s pozadím odečte od celkové absorpční křivky $N(d)$ a zbude absorpční křivka měkké komponenty, jejíž absorpční koeficient se po zlogaritmování opět určí lineární regresí (v oboru 0 - 150 mg.cm^{-2}). Nevýhodou tohoto postupu je již zmíněná silná citlivost k přesnosti určení N_B .

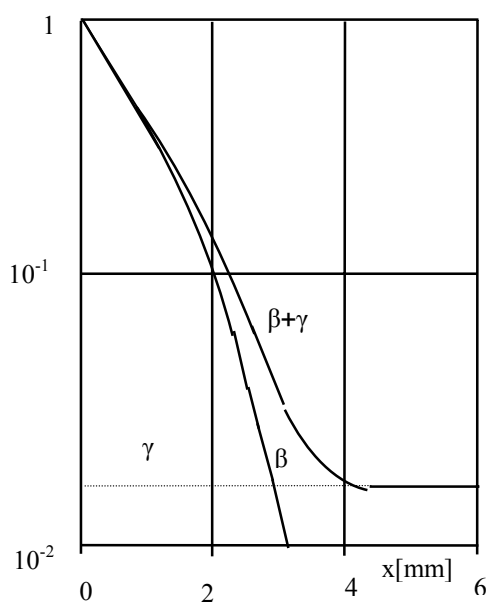
Kromě hliníkového absorbátoru se v měření uplatňuje ještě povlak na zářiči, vzduch mezi zdrojem a detektorem a okénko detektoru. Jejich vliv lze přibližně vzít v úvahu připočtením jejich plošné hmotnosti k plošné hmotnosti hliníkového absorbátoru.

DOPORUČENÁ LITERATURA A TABULKY

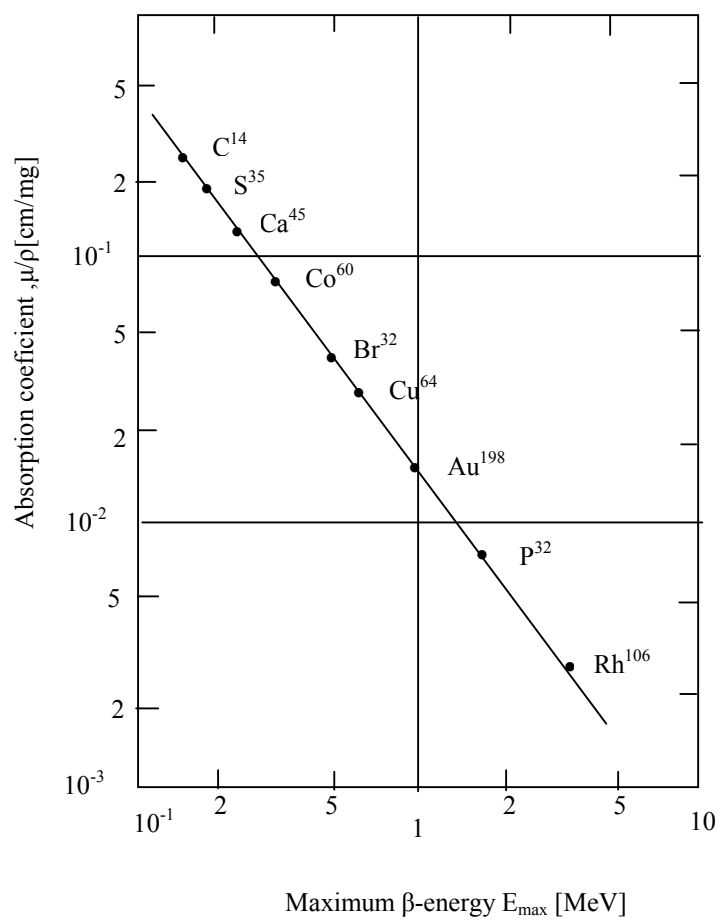
1. K. Siegbahn: Alpha-, Beta-, Gamma-Ray Spectroscopy, Vol.1, North-Holland, 1979
(existují dřívější vydání a ruský překlad)
2. C. M. Lederer, V. S. Shirley: Table of Isotopes, Willey & Sons, 1978



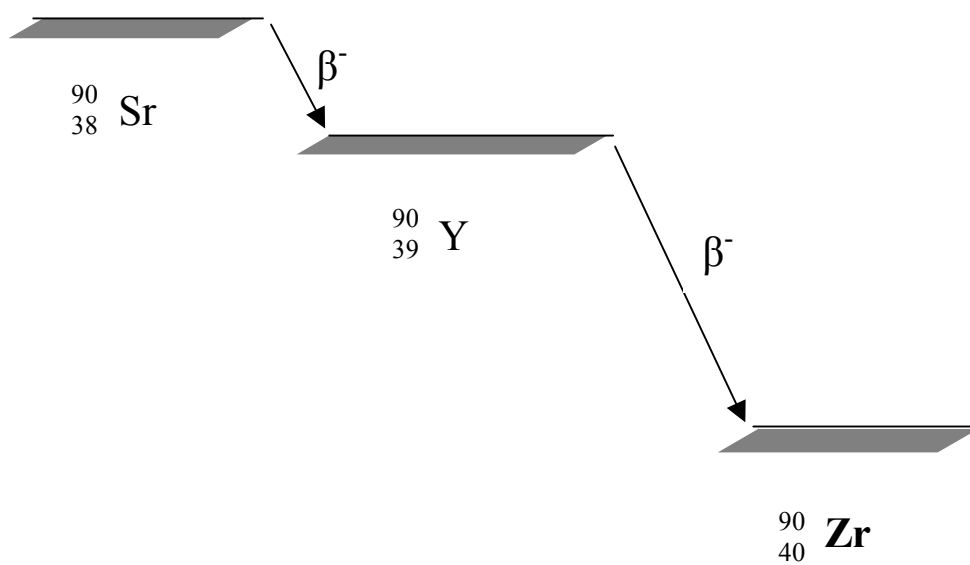
Obr.1 Absorption of monochromatic electrons in aluminum.



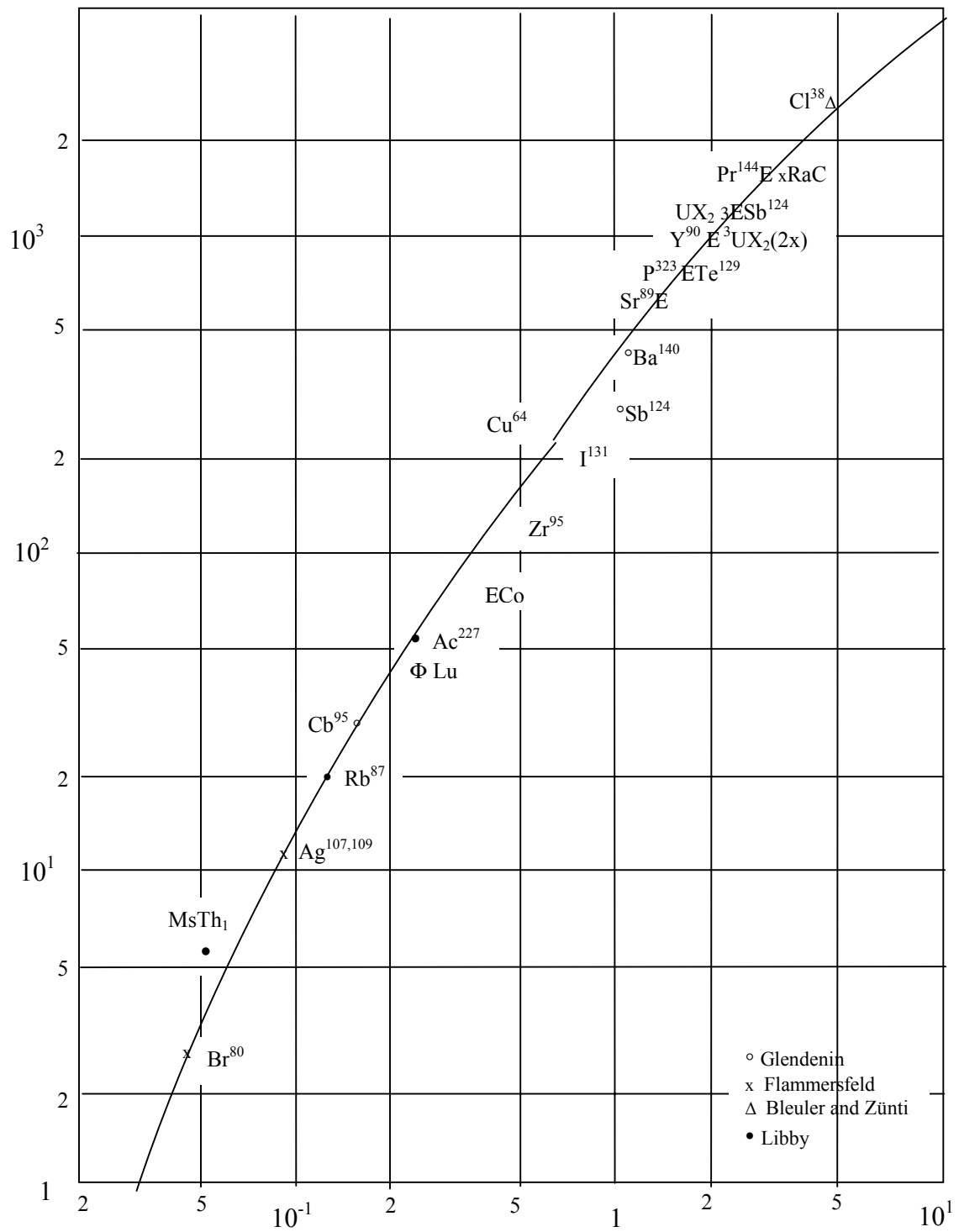
Obr.2 Transmission of β -rays from Al^{28} in aluminum



Obr.3 Absorption coefficient as a function of maximum β -energy⁵²



Obr.5 Schéma rozpadu ^{90}Sr



Obr.4 Maximum range of a number of β -emitters as a function of their maximum energy