

Stanovení intenzity radionuklidového zdroje neutronů metodou manganové lázně

Úvod

Cílem práce je stanovit intenzitu radionuklidového zdroje neutronů s využitím manganové lázně. Intenzita radionuklidového zdroje neutronů je charakterizována počtem neutronů, které jsou zdrojem emitovány za jednotku času. Metoda je založena na určování aktivity manganu v manganové lázni indukované neutrony, které jsou emitovány zkoumaným zdrojem. Pomocí odebraných vzorků a gamaspektrického systému na bázi polovodičového detektoru určíme aktivitu celé lázně a z ní intenzitu neutronového zdroje.

AmBe zářič

Pro aplikace, kde není potřeba vysoká intenzita neutronů, jsou vhodné tzv. radionuklidové zdroje. Tyto zdroje mají tu výhodu, že jsou kompaktní, snadno se přenášejí, vyžadují minimální údržbu, jsou jednoduše ovladatelné a cenově dostupné. Příkladem takového zdroje je AmBe zdroj, který využívá amerícium jako α zářič. Amerícium má poločas rozpadu 432,2 let a během rozpadu emituje částice alfa (jádra ${}^4\text{He}$). Tyto částice jsou poté zachyceny na beryliu, což vede k vytvoření uhlíku a uvolnění volného neutronu.

Příprava lázně

Intenzitu radionuklidového zdroje neutronů lze měřit podle počtu neutronů emitovaných během určitého časového období. Jednou z účinných metod pro měření této intenzity je metoda manganové lázně. Tato technika se zaměřuje na určení aktivity manganu, která je vyvolána interakcí s neutrony.

Manganová lázeň se skládá z nádoby, obvykle sférického tvaru, naplněné vodním roztokem síranu manganatého (MnSO_4). Když se zdroj neutronů umístí do středu nádoby, neutrony reagují s manganem v roztoku, což vede k měřitelným změnám v aktivitě manganu. Tímto způsobem je možné přesně určit intenzitu emitovaných neutronů.

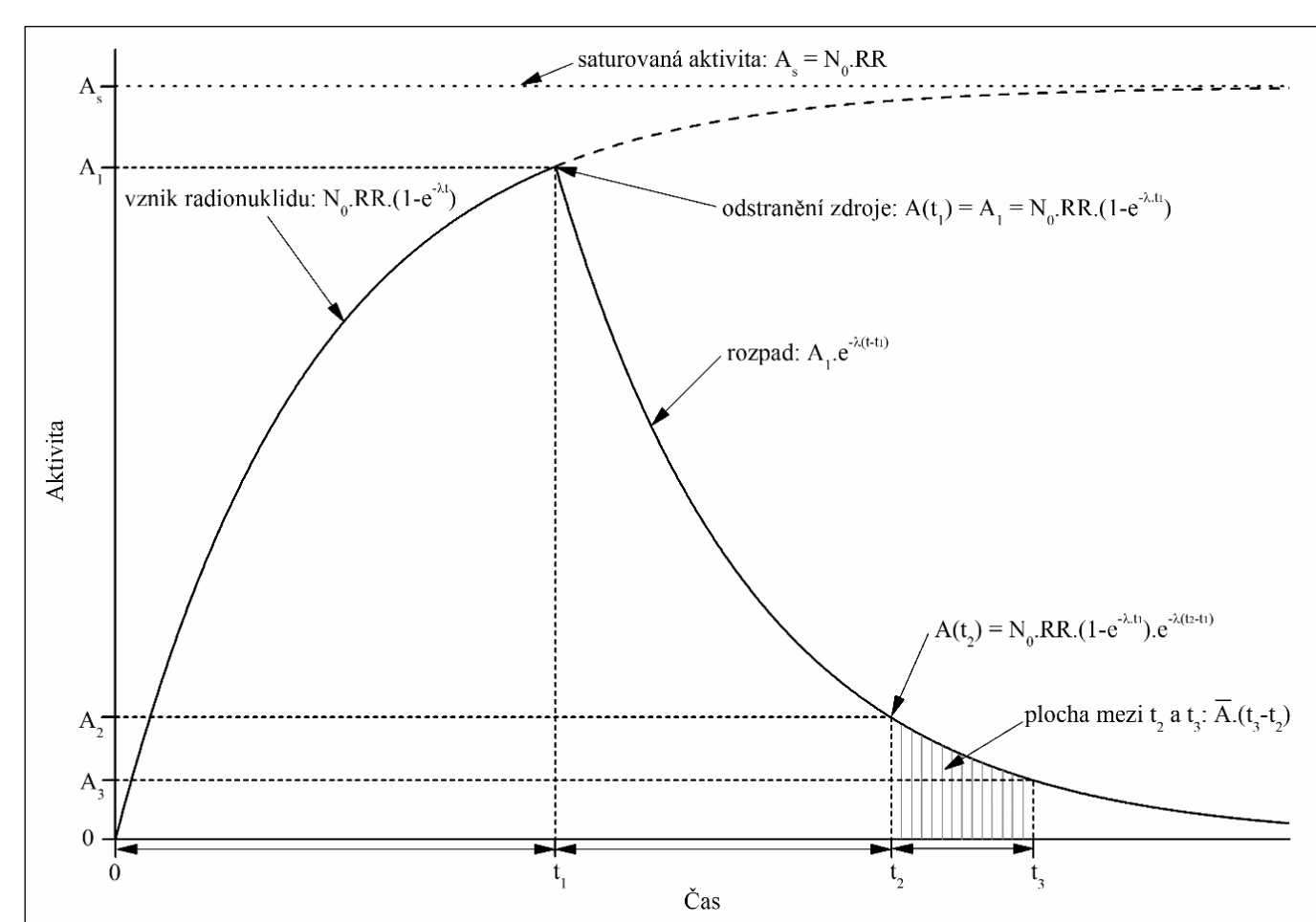
Manganová lázeň je vystavena záření z AmBe zdroje s neznámou intenzitou (emisivitou B), dokud se nedosáhne saturované aktivity. Saturace je stav, kdy počet nově vzniklých jader ${}^{56}\text{Mn}$ je v rovnováze s počtem jejich rozpadů, což obvykle trvá přibližně 26 hodin ($10 \times T_{1/2}$). Po saturování roztoku jsme jej promíchali za použití stlačeného vzduchu. Před odebráním vzorku jsme odpustili část roztoku, který uvízl v armatuře a nedošlo k jeho úplnému ozáření.



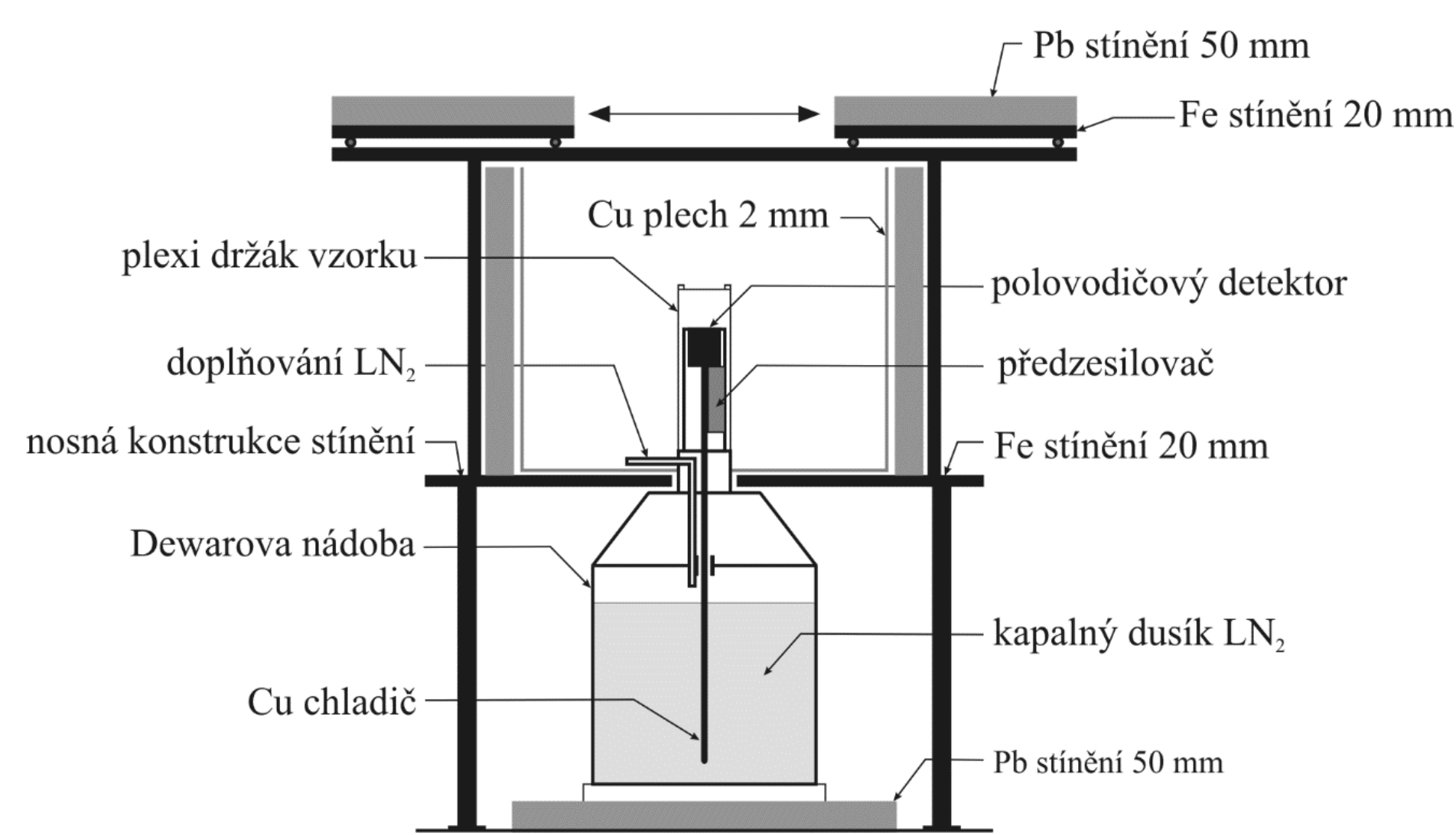
Manganová lázeň



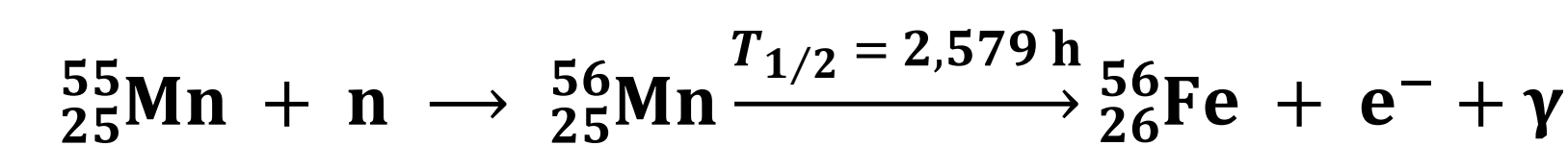
Stavba zdroje neutronů



Vývoj aktivity lázně na čase



Konstrukce detektoru



Popis děje v manganové lázni

Spektrometrie

Pro měření gama záření byl použit HPGe detektor. Tento detektor je schopen poskytnout detailní informace o spektru emitovaného gama záření. My jsme pracovali s energetickou hladinou 841,771 keV, protože právě tato hladina je nejlépe detekovatelná. Vzorky jsme umístili do Marinelliho nádobek a umístili je na snímač detektoru do odstíněného sarkofágu, pro eliminaci okolního záření. Během měření byl detektor chlazen tekutým dusíkem. Po naplnění Marinelliho nádobek došlo k jejich zvažení a zjištění objemů zkoumaných vzorků.

Provedli jsme tři měření ozářených vzorků. Výsledky těchto měření, včetně časů, ploch peaků, odpovídajících energií a intenzit těchto spektrálních linek, byly uloženy do textového souboru pro další analýzu. Hodnoty získané z obou měření jsme zpracovali pomocí excelu. Kromě toho jsme v literatuře našli referenční energie a intenzity zkoumaných peaků pro ${}^{56}\text{Mn}$. Pro naše měření jsme pracovali s mrtvou dobou do 3 % a statistickou chybou do 5 %, abychom mohli naše výsledky považovat za dostatečně přesné.

Naměřené hodnoty pro radionuklid Mn-56 na energetické hladině 846,771 KeV								
Měření vz.1	Plocha peaku	Odchylka (%)	začátek ozařování t_1	konec ozařování t_2	zahájení měření t_3	t_{real} (s)	t_{live} (s)	Mrtvá doba detektoru (%)
1	55678	0,4	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 12:49	751,7	743,6	1,08
2	28264	0,6	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 13:26	446,5	442,3	0,94
3	28491	0,6	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 13:46	483,8	479,7	0,86
Měření vz.2	Plocha peaku	Odchylka (%)	začátek ozařování t_1	konec ozařování t_2	zahájení měření t_3	t_{real} (s)	t_{live} (s)	Mrtvá doba detektoru (%)
1	61600	0,4	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 13:06	892,8	883,8	1,00
2	30312	0,6	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 13:35	497,9	493,5	0,89
3	28060	0,6	14.6.24 16:34	17.6.24 12:23	17.6.24 13:35	506,5	502,4	0,81

Výpočty

Pro výpočet saturované aktivity vzorku využijeme vztah $A = N_0 \cdot RR = \frac{S(E_\gamma) \cdot \lambda \cdot t_{\text{real}}}{(1 - e^{-\lambda \cdot t_1}) \cdot e^{-\lambda \cdot (t_2 - t_1)} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_{\text{real}}}) \cdot \epsilon_{\text{eff}}(E_\gamma) \cdot I_\gamma(E_\gamma)}$, kde $S(E_\gamma)$ – plocha pod peakem, t_1 – doba ozařování,

$t_2 - t_1$ – doba chlazení, t_{real} – doba měření, t_{live} – doba měření s opravou na mrtvou dobu, $\epsilon_{\text{eff}}^\gamma(E_\gamma)$ – absolutní detekční účinnost detekčního systému, $I_\gamma(E_\gamma)$ – intenzita sledované gama linky vztahená na jeden rozpad zkoumaného radioaktivního jádra (pravděpodobnost emise gama záření).

Z aktivity odebraného vzorku lze dále vypočítat celkovou aktivitu manganové lázně: $A_{\text{celk}} = \frac{V_{\text{celk}}}{V_{\text{vzorek}}} A_{\text{vzorek}}$

Díky známé aktivitě lázně jsme schopni vypočítat emisi neutronového zdroje a stanovit tak jeho intenzitu. Pro tento vztah platí: $S = \frac{A}{f(1 - f_1 - f_2 - L)}$, kde A – aktivita manganové lázně, f – podíl tep. neutronů zachycených Mn ku neutronům zachyceným ostatními jádry,

f_1 – podíl neutronů prodávajících reakce (n, α) na O, reakce (n, α) a (n, p) na S, f_2 – podíl neutronů ze zdroje ztracených v samotném zdroji a v dutinách, L – podíl neutronů ze zdroje uniklých z lázně.

Pomocí těchto vztahů jsme vypočetli následující:

Aktivita lázně – **3,36±0,14 MBq**

Experimentálně stanovena emisivita neutronového zdroje – **1,078 ± 0,056 × 10⁷ s⁻¹**

Certifikovaná emisivita neutronového zdroje **1,161×10⁷ s⁻¹**

Závěr

Pomocí experimentální metody se nám podařilo stanovit intenzitu zdroje neutronů s odchylkou pouhých 7,9 % od certifikované hodnoty. Tato odchylka může být způsobena nejen nepřesnostmi při výpočtech, ale také pravděpodobně vysokým stářím manganové lázně, která byla klíčová, pro tuto metodu. Dále také hrají roli faktory jako správná kalibrace detektoru a homogenita vzorků a samotné lázně.