

# Stínění neutronů

Veronika Deketová, Simona Gabrielová, Ondřej Holas  
Gymnázium Velké Meziříčí, Gymnázium Jírovcova  
Gymnázium Matyáše Lercha  
veronikadeketova@seznam.cz, simcagab@seznam.cz,  
pro2nux@gmail.com

20. 6. 2017

## Abstrakt

Ke stínění neutronů je možné použít různé materiály, jejichž efektivita stínění byla zkoumána pomocí metody zdroj ( $^{241}\text{AmBe}$ ) – materiál – detektor. Pro rozlišení rychlých a tepelných neutronů byla měření prováděna za střídavého použití Cd plechu u detektoru. Nejlepšího stínění neutronů bylo dosaženo za použití PEB a Cd plechu.

## 1 Úvod

Vzhledem k možným nežádoucím účinkům neutronů na lidský organismus je důležité jejich stínění. Rychlé neutrony interagují v tkáních pružným rozptylem na jádrech lehkých prvků. Pomalé a tepelné neutrony nejčastěji reagují s tkání dvěma způsoby: za uvolnění protonu nebo  $\gamma$  záření. Tímto způsobem dochází k produkci škodlivého sekundárního ionizujícího záření.

Běžným postupem při stínění neutronů je prvotní zpomalení rychlých neutronů ke zvýšení pravděpodobnosti jejich následné absorpce. Naším cílem bylo zjistit, jak efektivní jsou vybrané druhy materiálů při stínění neutronů.

## 2 Teoretická část

Pravděpodobnost libovolné interakce neutronu s jádrem je popisována pomocí mikroskopického účinného průřezu  $\sigma$  [ $\text{cm}^2$ ]. Počet těchto interakcí za 1 s v tenkém terčíku tloušťky  $X$  [cm] a plochy  $S$  [ $\text{cm}^2$ ] je dán reakční rychlostí  $R$ :

$$R = \sigma \cdot I_0 \cdot N \cdot S \cdot X \quad (1)$$

kde  $I_0$  je intenzita svazku neutronů [ $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ] nalétávajících na terč a  $N$  je hustota terčových jader [ $\text{cm}^{-3}$ ].

Makroskopický účinný průřez  $\Sigma$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] charakterizuje „ochotu“ terčového materiálu interagovat s neutrony a definován:

$$\Sigma = \sigma \cdot N \quad (2)$$

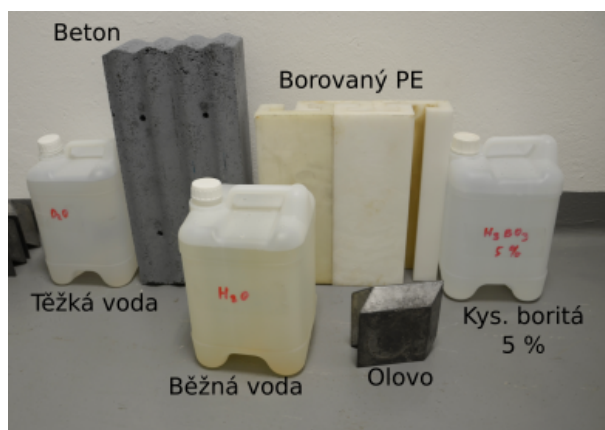
Po průchodu tenkým terčíkem tloušťky  $X$  je intenzita původního svazku  $I_0$  zeslabena na intenzitu svazku neutronů, které neinteragovali:

$$I(X) = I_0 e^{-\Sigma_t X} \quad (3)$$

Tento vztah byl v praktické části použit pro výpočet  $\Sigma_t$ , který charakterizuje daný materiál.

### 3 Materiály a metody

Zdroj neutronů byl umístěn do stínění z borovaného polyethylenu, ve kterém byl ponechán otvor pro jejich průchod. Za otvor byly pokládány stínící materiály. Následoval z části zakrytý detektor CANBERRA 65NH45 (vysoce citlivá  $^3\text{He}$  komora) viz Obr. 2. Z důvodu odstínění rozptýlených neutronů z okolních materiálů byl za detektor umístěn kadmiový plech. K měření bylo využito  $^{241}\text{AmBe}$  zdroje neutronů s poločasem rozpadu 432 let a multikanálový analyzátor TEMA DA-310. Pro rozlišení tepelných a rychlých neutronů bylo každé měření navíc zopakováno s vloženým kadmiovým plechem mezi detektorem a stínícím materiálem. Použité stínící materiály<sup>1</sup> jsou na Obr. 1, jejich tloušťky v Tab. 1.



Obrázek 1: Použité materiály pro stínění neutronů

Materiál	H <sub>2</sub> O	D <sub>2</sub> O	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Pb	beton	PEB	Cd plech
Tloušťka [cm]	17	17	17	5	10	8	0,1

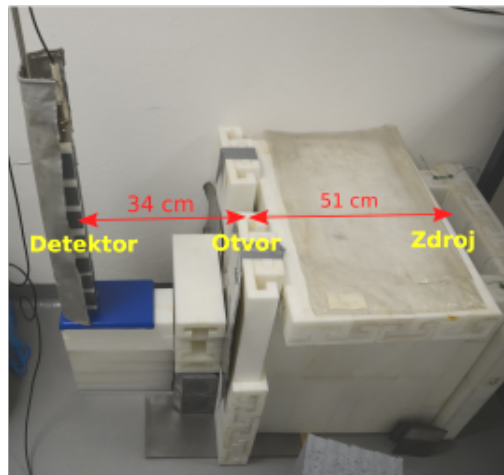
Tabulka 1: Tloušťka stínících materiálů

### 4 Popis a nastavení měřící aparatury

Měřící aparatura je zachycena na Obr. 2. Nastavení analyzátoru je patrné z Obr. 3, zde jsou popsány parametry ovlivňující zpracování signálu. Předmětem článku není další přesné specifikování těchto parametrů, přestože mohou dané měření ovlivnit. Doba měření byla nastavena na 10 minut, vysoké napětí na 1 285 V (viz Obr. 3).

<sup>1</sup>Použitý beton byl vyroben firmou ENVINET a jedná se o model HD325 o hustotě 3250 kg/m<sup>3</sup>.

Měření se zakrytým a odkrytým detektorem (pomocí Cd plechu) bylo provedeno za cílem rozlišení tepelných a rychlých neutronů, jelikož Cd dobře stíní tepelné neutrony. Odečtením dvou takto získaných hodnot (bez Cd plechu a s plechem) jsme následně schopni vypočítat intenzitu tepelných neutronů. Zároveň byla provedena diskriminace od 450. kanálu z důvodu omezení se pouze na detekci neutronů (odebrání vlivu  $\gamma$  záření).



Obrázek 2: Popis měřící sestavy

(a) *Nastavení vysokého napětí*

(b) *Nastavení analyzátoru*

Obrázek 3: Nastavení měřící sestavy

## 5 Výsledky

V tabulce č. 2 jsou uvedeny hodnoty naměřené intenzity svazků neutronů za jednotku času. Z tabulky je patrné, že celkového nejlepšího stínění bylo dosaženo za použití Cd plechu a borovaného polyethylenu, jelikož je zde nejnižší hodnota intenzity neutronů. Cd plech nejlépe stínil tepelné neutrony. Rozdílnost hodnot intenzit zakrytého detektoru bez stínění a nezakrytého detektoru se stíněním pomocí Cd plechu je možné vysvětlit

rozptylem neutronů Cd plechem. Rozptýlené neutrony nebyly vyloučeny z měření. Krycí Cd plech a stínící Cd plech nebyly identické a může tedy docházet k rozdílům v těchto parametrech.

Materiál	$I_c [\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$	$I_r [\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$	$I_t [\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$
Bez stínění ( $I_0$ )	1411	1068	342
H <sub>2</sub> O	1066	600	466
D <sub>2</sub> O	1104	687	416
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	959	607	352
Pb	1174	825	349
Beton	1056	702	354
PEB	950	628	321
Cd plech	1301	1029	272

Tabulka 2: Naměřené hodnoty intenzit  $I$

Kapalné stínící materiály vykazují převážně moderující účinky, což znamená snížení počtu rychlých neutronů z důvodu úbytku jejich energie a přesunu do tepelné oblasti způsobující navýšení počtu tepelných neutronů. Záporné hodnoty pseudomakroskopického účinného průřezu tepelných neutronů v Tab. 3 představují jejich navýšení.

Materiál	$\left(\frac{I_0}{I}\right)_c$	$\left(\frac{I_0}{I}\right)_r$	$\left(\frac{I_0}{I}\right)_t$	$\Sigma_c [\text{cm}^{-1}]$	$\Sigma_r [\text{cm}^{-1}]$	$\Sigma_t [\text{cm}^{-1}]$
H <sub>2</sub> O	1,32	1,78	0,73	0,0165	0,0339	- 0,0181
D <sub>2</sub> O	1,28	1,55	0,82	0,0144	0,0259	- 0,0115
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,47	1,76	0,97	0,0227	0,0332	- 0,0016
Pb	1,20	1,29	0,98	0,0367	0,0516	- 0,0036
Beton	1,34	1,52	0,97	0,0289	0,0419	- 0,0032
PEB	1,49	1,70	1,07	0,0494	0,0662	0,0082
Cd plech	1,08	1,04	1,26	0,8055	0,3659	2,3135

Tabulka 3: Efektivita stínění  $\frac{I_0}{I}$  a pseudomakroskopický účinný průřez  $\Sigma$

## 6 Závěr a diskuse

Ke stínění neutronů byla použita sada 7 materiálů a pomocí měření intenzity svazku neutronů byla měřena jejich efektivita. Jako nejlepší materiál pro celkové stínění neutronů se ukázal Cd plech a borovaný polyethylen, který se běžně k těmto účelům používá. Voda navyšovala počet tepelných neutronů z důvodu absorpce energie rychlých neutronů a jejich přesunutí do tepelné oblasti.

Pseudomakroskopický účinný průřez byl použit k objektivnímu srovnání materiálů, jelikož umožňuje porovnat materiály nezávisle na jejich tloušťce a zároveň makroskopický účinný průřez z dané geometrie aparatury nejsme schopni určit kvůli současné detekci rozptýlených neutronů.

## Poděkování

Předně děkujeme Ing. Ondřeji Humlovi, Ph.D., který nás do problematiky uvedl a dále jí nás prováděl. Naše díky patří i všem organizátorům TV@J 2017 a FJFI ČVUT.