

Šíření neutronů prostředím

J. Šrámek¹ and M. Musil²

¹G Boskovice; j.sram3k@gmail.com

²G Altis, Praha; musilmaxmusil398@gmail.com

Ing. Ondřej Huml, Ph.D.; KJR FJFI ČVUT

Abstrakt

Práce zkoumá účinky prostředí na svazek neutronů a následné změny pohybových (energetických a směrových) vlastností v důsledku neutronových interakcí s danými prostředími. Experiment byl prováděn s jednoduchou aparaturou (vizte obr.4) tvořenou zdrojem neutronového záření, vhodnými detektory neutronů (orientovanými na tepelné a rychlé neutrony) a testovaným prostředím (PE 3-9 cm, Cd, Pb 5-10 cm).

1 Úvod a cíle práce

Cílem této práce je měřit a zpracovat data průniku neutronů skrze různé materiály. Toto téma je nesmírně důležité, a to jak v teoretickém oboru, tak i v praxi, například moderace neutronů v jaderném reaktoru stojí a padá právě na průniku neutronů skrze modrační materiály. Mnoho dalších oborů by se bez těchto dat neobešlo.

Pro nás je ale nyní nejdůležitější, že při průchodu neutronů prostředím mohou nastat primárně 4 scénáře:

- a) neutron proletí skrz beze změny
- b) nastane rozptyl - neutron narazí do jádra, předá kinetickou energii a změní svou dráhu
- c) neutron je absorbován při srážce s jádrem za vzniku nového izotopu (např.: množivé reakce)
- d) násobící reakce - při srážce dojde k uvolnění více neutronů (např.: štěpení)

2 Teoretická část

2.1 Neutrony

Neutron je elementární částice bez elektrického náboje s klidovou hmotností srovnatelnou s hmotností protonu. Neutron je složen ze dvou down a jednoho up quarku a má poločíselné spinové číslo.

Teoreticky se jedná o radioaktivní částici s poločasem přeměny, ale to jen v případě, že

se nenachází v jádře atomu. Radioaktivní přeměna neutronů je však poměrně vzácný jev vzhledem k rychlostem, jež neutrony běžně dosahují.

Na kinetických energiích (rychlostech) jednotlivých neutronů pak závisí pravděpodobnost a druh jejich interakcí při srážce s materiálem. Neutrony dělíme na rychlé s kinetickou energií od stovek keV ($v \approx 5000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$) a tepelné (pomalé) s kinetickou energií od jednotek eV níže.

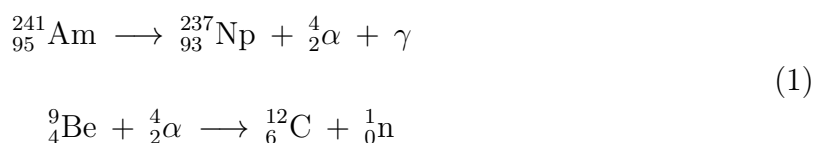
Tabulka 1: Tabulka informací o neutronu

m_n	Hmotnost	[MeV · c ⁻²]	940
s	Spin	[−]	$\frac{1}{2}$
$T_{1/2}$	Poločas přeměny bez jádra	[s]	887

2.2 Zdroj neutronů

Neutrony se nachází v jádrech atomů a k jejich získání musí proběhnout určitý typ jaderné reakce. Nejběžnějšími zdroji neutronů jsou radionuklidové zdroje - jde o směs vhodných lehkých prvků (Be, C) a radionuklidů (např.: Am, Pu), u kterých dochází k rozpadu radionuklidu vyzářením částice nebo energie, která následně iniciuje reakci v jádru lehčího prvku, při které se uvolní neutron.

V našem experimentu byla použita směs AmBe. Dále neutrony vznikají například i v urychlovačích částic nebo jaderných reaktorech.



2.3 Detektor neutronů

Z podstaty neutronů vyplývá, že nemohou ionizovat prostředí, kterým prolétají. Proto je nelze přímo detekovat. Lze ovšem ke klasickému detektoru nabitých částic přidat vrstvu materiálu, která při interakci s neutronem uvolní nabitou částici, kterou je poté možné detekovat (např.: změnou napětí nebo zábleskem). V naší práci jsme použili scintilační detektory na bázi ZnS(Ag) s konvertory ${}^6\text{Li}$ a H.

3 Praktická část

3.1 Pomůcky a materiály

- Zdroj neutronů (AmBe) v odstíněném kontejneru
- Scintilační detektory ZnS(Ag)+H pro rychlé neutrony a ZnS(Ag)+ ${}^6\text{LiF}$ pro tepelné neutrony
- Zdroj γ záření (Cesium-137) pro kalibraci detektorů
- Multikanálový analyzátor DA-310 od firmy TEMA

- 3x PE bloky o šířce 3 cm, PE (+B) blok o šířce 10 cm, 2x Pb bloky o šířce 5 cm, Cd tenká destička
- Polohovací plošina, lepicí páska

3.2 Postup

Přistavili jsme polohovací stůl ke kontejneru do vhodné polohy a položili na něj detektor ZnS(Ag)+H.

Následně jsme změřili tok neutronů bez překážek.

Poté jsme zkalibrovali detektor pomocí Cesia-137 (diskriminace γ záření).

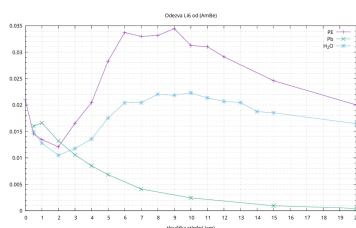
Přípevnili jsme detektor na připravené místo a spustili měření.

Postupně jsme v pětiminutových intervalech proměřili konfigurace: PE 3 cm, PE 6 cm, PE 9 cm, PE (+B) 10 cm, PE 9cm + Cd (před sestavou), PE 9 cm + Cd (za sestavou), Cd, Pb 5 cm, Pb 10 cm.

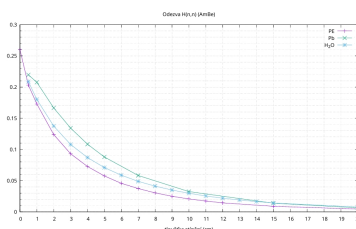
Poté jsme celý proces zopakovali s detektorem ZnS(Ag)+ ^6LiF .

Výsledky jsme zaznamenali a vyhodnotili.

3.3 Výsledky simulací



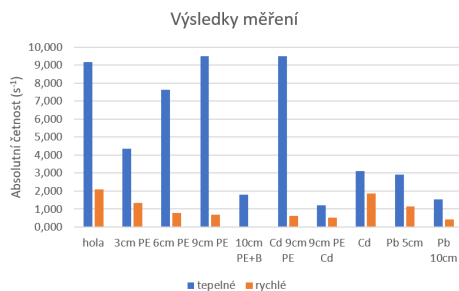
Obrázek 1: Simulace Monte Carlo metodou, měřič ZnS(Ag)+ ^6LiF [1]



Obrázek 2: Simulace Monte Carlo metodou, měřič ZnS(Ag) [1]

3.4 Výsledky a diskuze

Naměřené hodnoty byly v souladu s předpoklady a simulací pomocí metody Monte Carlo. Při detekci tepelných neutronů pomocí detektoru ZnS(Ag)+H byla absolutní četnost u polyethylenu mnohem vyšší, protože tento materiál neutrony kromě odklápění i moderuje (lehká jádra, zákon zachování hybnosti) a s širší vrstvou materiálu se absolutní četnost po počátečním propadu začne zvedat. Kadmiová destička funguje jako dobrý filtr tepelných neutronů (vysoký efektivní průřez), proto při přiložení destičky přímo před detektor četnost markantně klesla. Při přiložení kadmiové destičky přímo před zdroj není úbytek tak

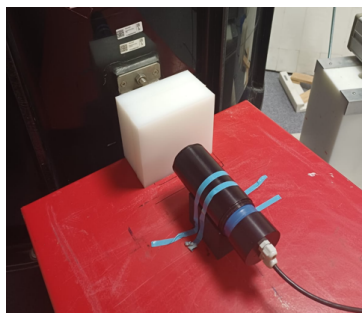


Obrázek 3: Zpracovaná data z měření

vysoký, protože rychlé neutrony projdou skrz a poté se v široké PE vrstvě zpomalí. Při použití deseticentimetrového bloku PE s adovaným borem nastal vysoký pokles, protože bor je schopný velkou část neutronů vychytat (absorbce).

Při měření rychlých neutronů absolutní četnost kontinuálně klesá kvůli zpomalování a odražení neutronů z původního směru toku.

U olova je vidět v obou měřeních znatelný pokles kvůli rozptylovým reakcím. Případné menší odchylky mohly nastat z důvodu mírně rozdílných časů měření. Větší chyba (např.: pohnutí zdrojem nebo měřičem) v průběhu měření nenastala.



Obrázek 4: Detektor ZnS(Ag)

4 Závěr

Výsledky byly v souladu s předpoklady. Potvrdila se myšlenka moderace lehkými jádry vodíku v polyethylenu a trend měření odpovídal simulaci. Olovo odstiňovalo neutrony kvůli rozptylovým reakcím, kadmium kvůli vysokému účinnému průřezu. Větší chyba v průběhu měření nenastala.

Poděkování

Děkujeme Ing. Ondřeji Humlovi. Také děkujeme KJR a FJFI za organizaci a příležitost.

Odkazy

1. HUML, O. *Simulace neutronů Monte Carlo metodou*. [B.r.]. [cit. 2025-06-24].