

Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu

B. Baštářová, Gymnázium Blovice, Blovice, barullinka2@gmail.com

F. Solař, První soukromé jazykové gymnázium, Hradec Králové,
solar.filip@psjg-hk.cz

Ing. Ondřej Novák, ondrej.novak@fjfi.cvut.cz

Abstrakt:

Cílem tohoto projektu bylo stanovit obohacení nebo hmotnost vzorků přírodního uranu na základě měření zpožděných neutronů, které se uvolní při rozpadu jader vzniklých štěpením.

1 Úvod

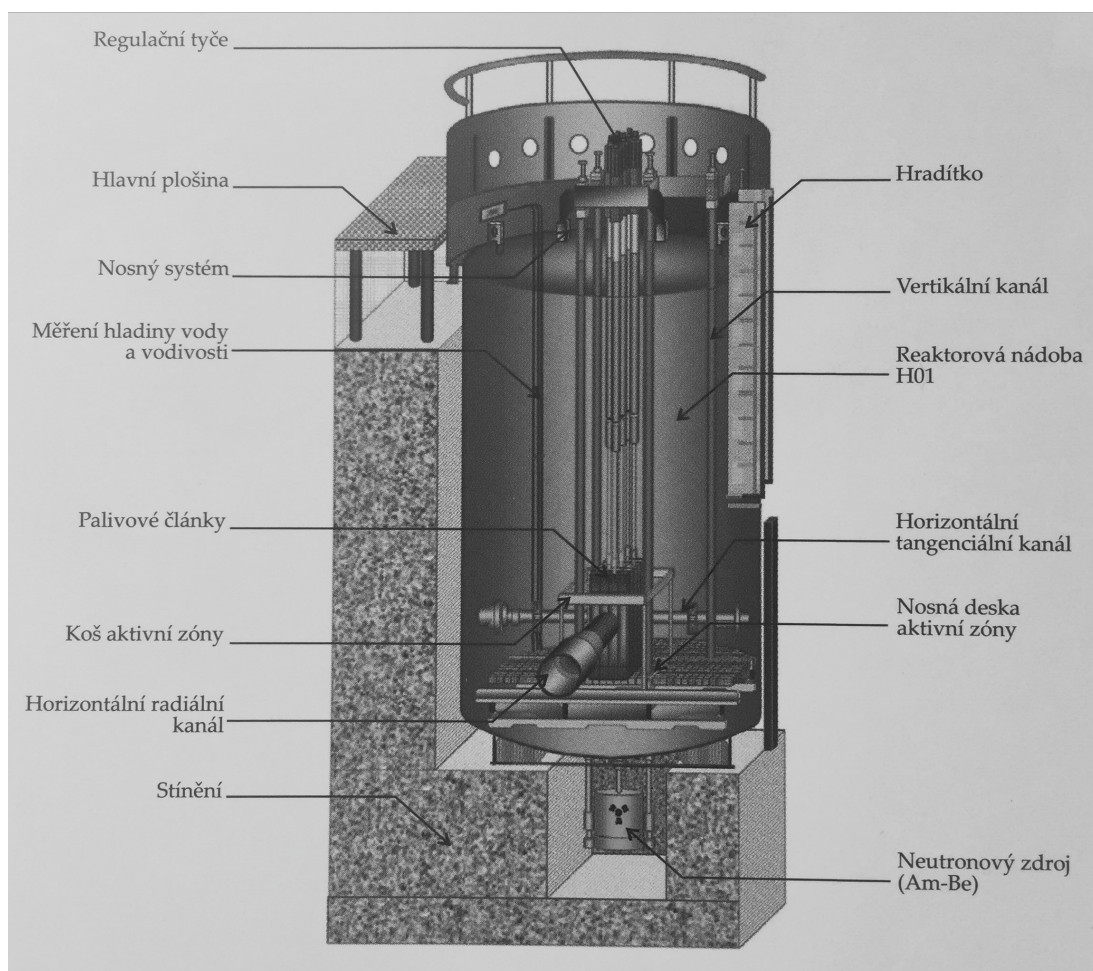
Obohacení uranu nelze stanovit chemicky. Lze využít metody detekce zpožděných neutronů, která může pomoci určit kromě obohacení i hmotnost a koncentraci izotopů uranu. Odezva detektoru je přímo úměrná množství ^{235}U ve vzorku.

Školní reaktor VR-1

Školní reaktor VR-1 tzv. Vrabec patří mezi nejdůležitější zařízení pro výuku výukových a vědecko-výzkumných experimentů. Také slouží i k výcviku obsluhy studentů zabývajících se problematikou jaderné energetiky. Reaktor VR-1 se řadí mezi reaktory nulového výkonu. Parametry jaderného reaktoru VR-1 jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1: Parametry reaktoru VR-1 (zdroj: Rataj a kolektiv, 2016)

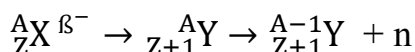
Parametry reaktoru Vr-1	
Výkon	Tepelný výkon 100 W
	Krátkodobě až 500 W
Palivo	typ IRT-4M, obohacený ^{235}U na 19,7 %
Stínění	voda a těžký beton
Chladivo	demineralizovaná voda
Regulační systém	5-7 absorpčních tyčí
	3 bezpečností tyče
	2 regulační tyče
	0-2 experimentální tyče
Nezávislá výkonová ochrana	4 borové detektory
Neutronový zdroj	Am-Be, 186 GBq



Obr. 1: Schéma reaktoru VR-1 (propagační materiál FJFI, 2019)

Vznik zpožděných neutronů

Vzorek je vystaven štěpné reakci, která probíhá v aktivní zóně reaktoru. Po vystavení vzorku X štěpné reakci dojde k excitovanému stavu jader vzorku X, aby se jádra dostala na stabilní energetickou hladinu, uvolní neutron. Tomuto neutrony se říká zpožděný.



A_ZX – předchůdce mateřského jádra

β^- – záření beta mínus

${}^A_{Z+1}Y$ – mateřské jádro

${}^{A-1}_{Z+1}Y$ – výsledné jádro

Zpožděné neutrony a jejich efekt na chování jaderného reaktoru nejdříve prostudoval G. R. Keepin, který rozdělil zpožděné neutrony do šesti skupiny na základě podobnosti jejich mateřských jader. Typickým dělicím znakem těchto jader je poločas rozpadu a podíl vyzářených neutronů. Rozdělení se používá dodnes.

Detekce zpožděných neutronů

Po uplynutí stanovené doby ozařování je vzorek přesunut do detekčního systému, který je připojen k analyzátoru EMK-310. Analyzátor je ovládán pomocí počítač, na kterém jsou zpracovávána naměřená data. Pomocí programu EMK-310 lze určit četnost zpožděných neutronů za požadovaný čas.

2 Praktická část

Obohacení přírodního uranu

První část experimentu byla založena na měření obohacení vzorků přírodního uranu. Obohacení bylo vypočítáno na základě známé závislosti - četnosti a míry obohacení.

Postup měření

Pomocí potrubní pošty, fungující na principu podtlaku, se jeden z různě obohacených vzorků přírodního uranu dostal do ozařovacího kanálu v aktivní zóně. Vzorek byl ozařován po dobu 400 sekund a stejnou cestou a principem byl přemístěn do detektoru. Detektor zaznamenal

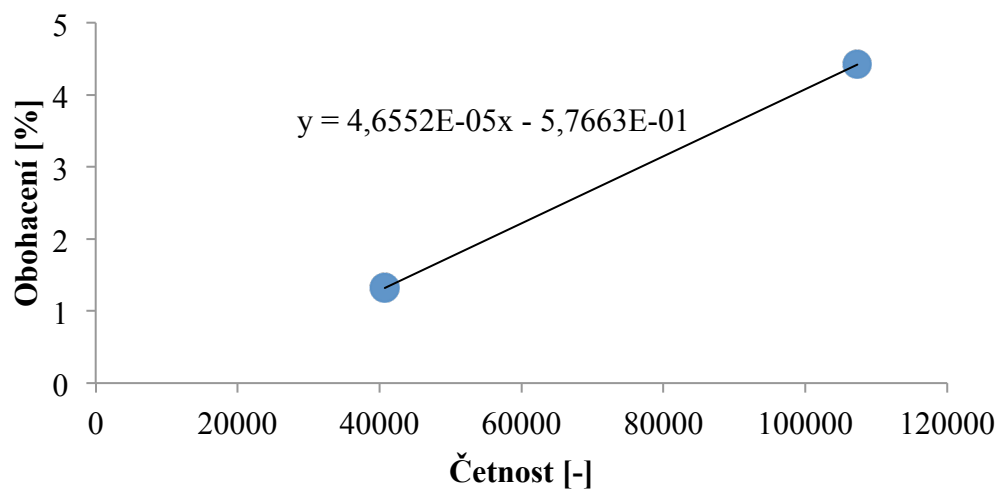
četnost vylétajících zpožděných neutronů za dobu 200 sekund. Počet vylétajících zpožděných neutronů klesal exponenciálně. Měření probíhalo celkem třikrát. Při čemž u posledního vzorku nebylo známo obohacení, byla naměřena pouze četnost. Pomocí hodnot získaných z prvních dvou měření, byla sestaven graf (Graf 1) lineární funkce. Předpis lineární funkce byl použit pro výpočet obohacení posledního vzorku. Naměřené hodnoty jsou znázorněny v Tabulce 2.

Tabulka 2: Obohacení uranu

Vzorek	Četnost	Obohacení	Čas ozařování	Čas měření v detektoru
1	40742	1,32 %	400 s	200 s
2	107334	4,42 %	400 s	200 s
3	80446	3,17 %	400 s	200 s

Výsledky

Hodnota obohacení posledního vzorku byla stanovena na 3,17 %. Od udávané hodnoty se měření liší o 0,15 %.



Graf 1: Obohacení uranu

Hmotnost přírodního uranu

Druhá část experimentu byla založena na měření hmotnosti vzorků přírodního uranu. Hmotnost byla vypočítána na základě známé závislosti - četnosti a hmotnosti.

Postup měření

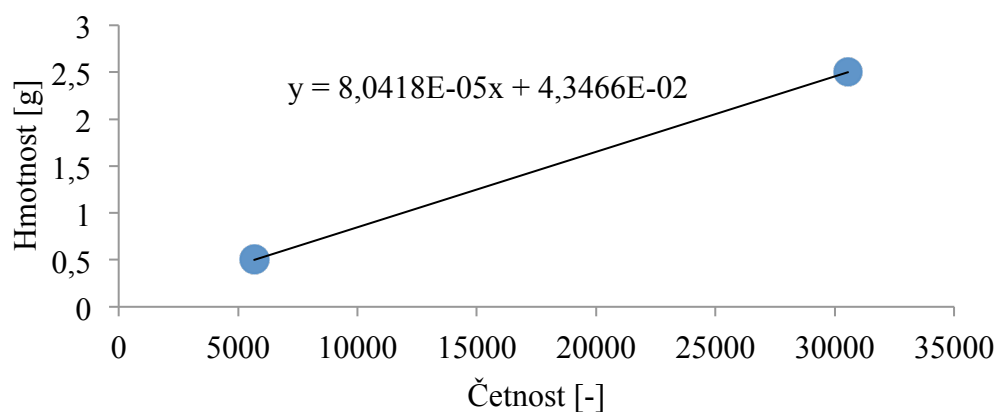
Pomocí potrubní pošty, fungující na principu podtlaku, se jeden ze vzorků rozdílné hmotnosti přírodního uranu dostal do ozařovacího kanálu v aktivní zóně. Vzorek byl ozařován po dobu 400 sekund a stejnou cestou a principem byl přemístěn do detektoru. Detektor zaznamenal četnost vylétajících zpožděných neutronů za dobu 200 sekund. Počet vylétajících zpožděných neutronů klesal exponenciálně. Měření probíhalo celkem třikrát. Při čemž u posledního vzorku nebylo známá hmotnost, byla naměřena pouze četnost. Pomocí hodnot získaných z prvních dvou měření, byla sestaven graf (Graf 2) lineární funkce. Předpis lineární funkce byl použit pro výpočet hmotnosti posledního vzorku. Naměřené hodnoty jsou znázorněny v Tabulce 3.

Tabulka 3: Hmotnost uranu

Vzorek	Četnost	Hmotnost	Čas ozařování	Čas měření v detektoru
1	5677	0,5 g	400 s	200 s
2	30547	2,5g	400 s	200 s
3	17173	1,42 g	400 s	200 s

Výsledky

Hmotnost posledního vzorku byla stanovena na 1,42 g. Od udávané hodnoty se měření liší o 0,1 g.



Graf 2: Hmotnost uranu

3 Závěr

Pomocí metody detekce zpožděných neutronů byly u dvou různých vzorků stanoveny míra obohacení případně hmotnost. Výsledky měření obohacení jsou uvedeny v Tabulce 2. Výsledky měření hmotnosti jsou uvedeny v Tabulce 3. Odchylku měření od oficiálně uváděných hodnot lze označit za přijatelnou. Pro zpřesnění měření by bylo třeba naměřit více referenčních vzorků, případně prodloužit čas ozařování a detekce.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat panu Ing. Ondřeji Novákovi za vedení projektu a jeho cenné rady. Dále bychom chtěli poděkovat Katedře jaderných reaktorů Českého vysokého učení technického v Praze za možnost vypracovat tento projekt. A také organizátorům akce Týden vědy na Jaderce 2019.

Reference

Rataj a kolektiv - RATAJ, Jan, Ondřej HUML a Lubomír SKLENKA. Experimentální neutronová a reaktorová fyzika: laboratorní cvičení. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-05904-3.