

Termoluminiscenční dozimetrie

V. Zajac, P. Prchal, T. Dygrýn, M. Kočová
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT
zayats.vaska@gmail.com

Abstrakt:

Úspěšně jsme zkalibrovali fotonásobič pro měření termoluminiscence a následně jsme s jeho pomocí měřili dávky vzorků ozářených Co-60 a určili vztah mezi dávkou a svítivostí.

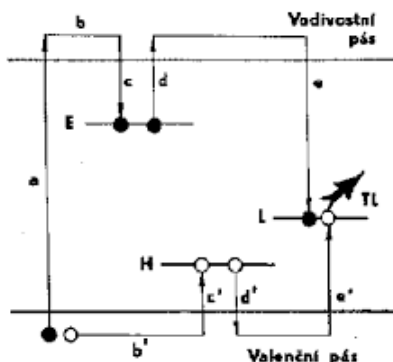
1 Úvod

Úvodní informace (motivace, současný stav problému)

Radiací se každý den vystavuje každý z nás, ve většině případů je však pro nás toto záření ve velmi nízkých dávkách a není pro člověka nebezpečné. Pracovníci v jaderných elektrárnách či zdravotníci se ve však často vystavují dávkám, které jsou vyšší než ty běžné. Toto záření může být ve vyšších dávkách nebezpečné a je proto potřeba ho umět spolehlivě a jednoduše měřit. Jedním z těchto způsobů je termoluminiscenční dozimetrie (TLD).

2 Podstata termoluminiscenční dozimetrie

Termoluminiscence je založena na pásovém modelu pevných látek, který určuje rozložení elektronů ve slupkách. Když vysokoenergetické záření interaguje s elektrony, některá část energie se předá elektronu, který se excituje na vyšší energetickou hladinu. Tento jev však funguje pouze v případě, že je vazebná energie elektronu menší než energie záření. Elektron tak přechází ze svého valenčního pásu do pásu vodivostního (viz obrázek 1).



Obrázek 1: Pásový model pevných látek
E-elektronová past, TL-termoluminiscenční centrum

Při deexcitaci se však část elektronů ihned nevrací na svou původní polohu, ale často se zachytí mezi dvěma pásy v tzv. elektronových pastech, ve kterých může zůstat po velmi dlouhou dobu.

Elektronové pasti jsou způsobeny příměsí a nehomogenitou materiálu. V případě, že materiál zahřejeme, dodáme elektronům dostatečnou energii na to, aby se přesunuly z elektronových pastí do vodivostního pásu, ze kterého následně přejdou zpět do valenčního pásu. Při tom jsou občas zachyceny v luminiscenčním centru, ve kterém se specifická část energie vyzáří ve formě fotonů. Luminiscenční centra jsou tvořena příměsí přechodných prvků a prvků vzácných zemin. Vlnová délka vyzářeného světla závisí na vzdálenosti luminiscenčního centra od valenčního pásu, která je pro určitý materiál (v našem případě LiF) vždy stejná. Změřením intenzity světla pak můžeme vypočítat dávku. Tento jev lze použít pro dozimetrii či například pro určování stáří materiálů v archeologii.

3 Metoda měření

Pomůcky: Sada TL dozimetrů (TLD-1000) z LiF, vakuová pinzeta, reader Harshaw 3500, ozařovač GammaCell 220

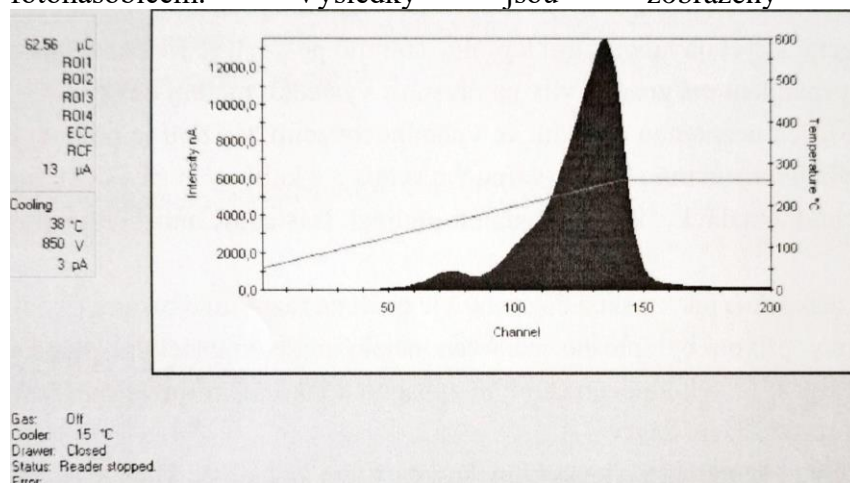
Cílem bylo zjistit vztah mezi dávkou a vyzářeným světlem a následně na základě našich měření určit dávku neznámého vzorku.

Nejprve jsme TLD rozdělili do šesti skupin, každá z nich byla vystavena jiné dávce záření, přičemž u jedné byla dávka nulová, u čtyř byla dávka známá a byla určena pro kalibraci a u jedné byla dávka neznámá. Po přípravě dozime [Přítáhněte pozornost čtenářů zajímavou citací z dokumentu nebo tu zvýrazněte klíčové body. Toto textové pole můžete jednoduše umístit na libovolné místo na stránce přetažením myši.]

trů jsme vypočítali, jak dlouho je potřeba vzorky ozařovat (V rozsahu několika minut). A poté jsme přistoupili k samotnému ozáření na GamaCellu. Když byly vzorky ozářeny došlo k měření intenzity světla v readeru Harshaw 3500. Zde dochází k zahřátí dozimetrů na teplotu cca. 260°C, jejichž světlo je poté detekováno fotonásobičem. Výsledky jsou zobrazeny na obrázku č.3



Obrázek 2: TL dozimetry v petriho misce



Obrázek 3: Grafický výstup programu pro analýzu TLD. Osa x je čas, tenká čára je teplota(škála na pravé straně), tmavý graf je intenzita(škála na levé straně)

Intenzitu záření jsme poté převedli do tabulky (z každého vzorku o 5 dozimetrech jsme vytvořili aritmetický průměr) a vytvořili graf ukazující závislost optické odezvy (OR) na dávce (D). Zjištěním kalibrační přímky pak můžeme předpokládat určitou hodnotu optické odezvy při dané dávce záření. Následně jsme s pomocí předpisu funkce vypočítali dávku neznámého vzorku.

4 Statistická nejistota

Po naměření výsledků jsme vypočítali rozptýlení kolem regresivní přímky (s_e) a směrodatnou odchylku určení dávky (s_{D_x}) pomocí následujících vzorců:

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - b - aD_i)^2}{(n - 2)}}$$

$$s_{D_x} = \frac{s_e}{a} \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(y_m - \bar{y})^2}{a^2 \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}}$$

kde n je počet různých dávek pro výpočet kalibrační přímky, m je počet měření ve skupině, y_i jsou průměrné hodnoty optické odezvy v jedné skupině, a je směrnice kalibrační přímky, b je absolutní člen předpisu kalibrační přímky, D_i jsou dávky, kterými byly ozářeny jednotlivé skupiny, \bar{D} je průměr dávek, y_m je optická odezva neznámého vzorku, \bar{y} je průměr optické odezvy všech skupin. Takto jsme vypočítali odchylku určení dávky 9,5 %.

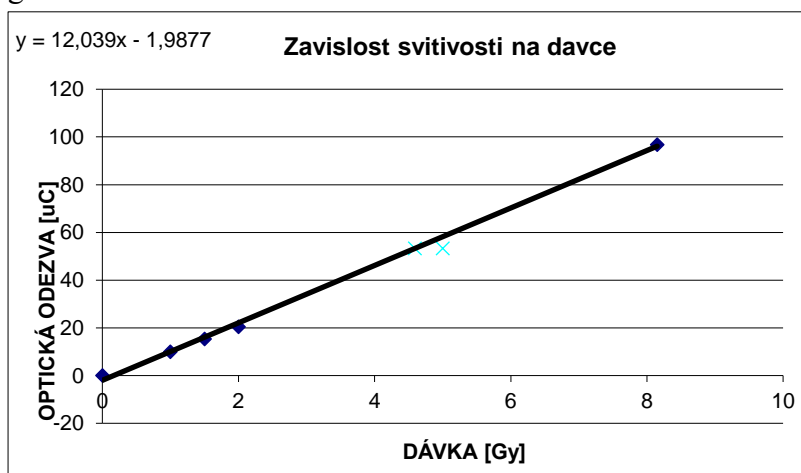
5 Výsledky

V této části naší práce jsou uvedeny výsledky. Ve většině vzorků se nacházelo 5 dosimetrů, které jsme jednotlivě měřili a hodnoty OR zapisovali to tabulky 1.

vzorek	davka [Gy]	cas[s]	Mereni [uC]					prumer
0	0	0	0,01	0,00	0,01			0,01
1	1	181	10,26	9,57	10,34	10,28	9,3	9,95
2	1,5	287	15,01	14,52	16,47			15,33
3	2	383	19,34	20,73	19,67	20,19	21,89	20,36
4	8,15	1531	95,92	96,59	99,09	95,21		96,70
N	?	957	55,09	56,98	49,66	53,99	50,82	53,31

Tabulka 1: V tabulce máme uvedeny jednotlivé vzorky společně s dávkou, které byly vystaveny, ta závisí na čase ozařování. Napravo jsou pak zapsané výsledky jednotlivých měření (u většiny vzorků je to 5 dozimetrů, u některých méně), v posledním sloupci je vypsán aritmetický průměr, který jsme následně využili k další analýze.

Body průměru jsme poté umístili do tabulky a proložili jimi kalibrační přímku, jak je vidět na grafu č.1



Graf 1: Graf znázorňující závislost optické odezvy na dávce. Do grafu byly naneseny experimentálně získané body, které byly následně proloženy funkcí s přepisem $y=12,039x-1,9877$

Naším dalším úkolem bylo změřit dávku neznámého vzorku podle jeho optické odezvy. K tomu jsme potřebovali kalibrační přímku, která má předpis

$$OR = 12,039D - 1,9877$$

Dávku lze vypočítat podle vzorce

$$D = \frac{OR - 1,9877}{12,039}$$

Dosadíme-li za OR naměřenou hodnotu 53,308, dostaneme hodnotu dávky 4,59 Gy, která se od reálné hodnoty 5 Gy liší o zhruba 8,5 %.

6 Diskuze

Podarilo se nám zkonstruovat kalibrační přímku s relativně nízkou odchylkou. Zároveň jsme potvrdili, že optická odezva materiálu roste lineárně s dávkou záření. Pravděpodobně největším nedostatkem našeho měření je nehomogenita kalibračních bodů. Vzdálenost mezi 2 a 8 Gy je oproti 1 a 1,5 příliš velký skok. Optimálnější řešením by bylo snížit dávku skupiny 4 na 3-4 Gy anebo přiřadit skupině 2 dávku 5 Gy. První možnost by zvýšila přesnost měření, druhá by však zachovala možný rozsah měření. Dalším problémem byla technická chyba, která znehodnotila výsledky dvou měření dozimetřů skupiny 2, což značně zvýšilo nejistotu. Dalším problémem je například nehomogenita dávkového příkonu v ozařovači GammaCell 220. Vzorky, které byly blíže ke středu obdržely nižší dávku, protože jsou zdroje záření umístěny na okrajích nádoby. I přesto bylo možné změřit dávku neznámého vzorku s odchylkou menší než 9 %, což je na zvolenou metodu velmi dobré.

7 Shrnutí

Úspěšně se nám podařilo vytvořit kalibrační křivku, která by mohla sloužit jako základ pro budoucí dosimetrii a analýzu dalších TLD. Zároveň jsme s touto metodou získali mnoho nenahraditelných zkušeností.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat doktoru Jiřímu Martinčíkovi za jeho spolupráci, vysvětlení a pomoc při tvorbě této práce.

Reference

- [1] Horowitz Y.S. (Ed.) *Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry*. Vol. I-III. Boca Raton, CRC Press, 1984
- [2] Kirchner, J. *Data Analysis Toolkit #10: Simple linear regression*. Earth and Planetary Science 120/Energy and Resources 130, University of California, Berkeley, 2001