

Termoluminiscenční dozimetrie

Josef Doležal, Marek Miladinović, Tomáš Hrabák, Alžběta Uvírová

Gymnázium Plzeň, Mikulášské nám. 23
Gymnázium, Praha 9, Chodovická 2250
Gymnázium Plzeň, Mikulášské nám. 23
Wichterlovo gymnázium, Ostrava-Poruba

jdolezal42@email.cz; marekm222@seznam.cz
tomca.h@post.cz; alzbeta.uvirova@seznam.cz

20. června 2023

Abstract

Náplní naší práce, bylo v praxi vyzkoušet termoluminiscenčních vlastnosti vybraných pevných látek ve fyzikálním oboru dozimetrie a detekce ionizujícího záření. Hlavním cílem projektu bylo zjistit vztah mezi luminiscencí ozářené látky a obdržené dávky záření. Tento jev by umožnil využití těchto látek jako malé osobní pasivní dozimetrie vhodné pro dlouhodobé měření obdržené dávky záření.

1 Úvod

Dozimetrie obecně dělíme na pasivní a aktivní. Aktivní dozimetrie se vyznačují schopností měřit a zobrazovat aktuální hodnoty ozáření v reálném čase. Pro dlouhodobé měření jsou však nepraktické, náročné na údržbu a pro profese bez ohrožení akutním ozářením existuje lepší varianta v podobě pasivních dozimetrů. Ty jsou určeny k dlouhodobému měření a následnému vyhodnocení v laboratoři pomocí příslušných přístrojů. Samotné dozimetrie TLD100 použité k měření jsou velmi malé, podobající se disku o průměru 3 mm.

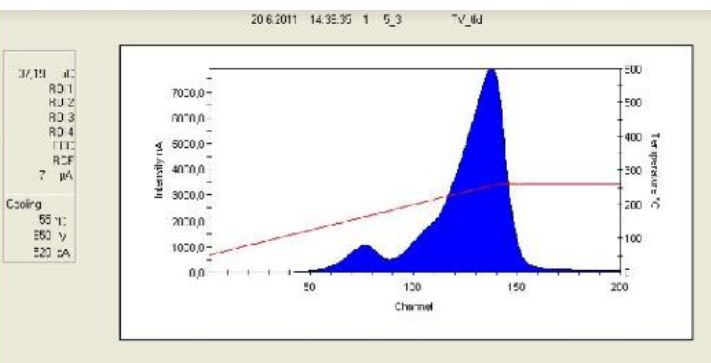


Figure 1: Pasivní dozimetrie TLD100

Pro následné vyhodnocení obdržené dávky se dozimetrie umístí do speciálně navrženého přístroje, který během několika sekund data zpracuje a zakreslí do grafu.



Přístroj Harshaw TLD reader 3500



Vyhodnocený graf

Figure 2

2 Teorie

Princip termoluminiscence spočívá v pohybu elektronů do nižší energetické hladiny. Při zásahu ionizujícím zářením elektron obdrží energii, dostane se tak do excitovaného stavu a opouští valenční vrstvu. V tuto chvíli se nachází v takzvaném vodivostním pásu. Při návratu zpět do valenčního pásu přichází o získanou část energie vyzářením fotonu o vlnové délce odpovídající ztracené energii. Část elektronů je při návratu zachycena v tzv. elektronových pastích, kde je elektronům znemožněn další pohyb. Při dalším předání energie, například formou zahřátí, se mohou dostat zpět do vodivostního a následně valenčního pásu. Míra luminiscence (množství emitovaných fotonů) je přímo úměrná množství elektronů uvolněných pomocí tepla dodaného přístrojem.

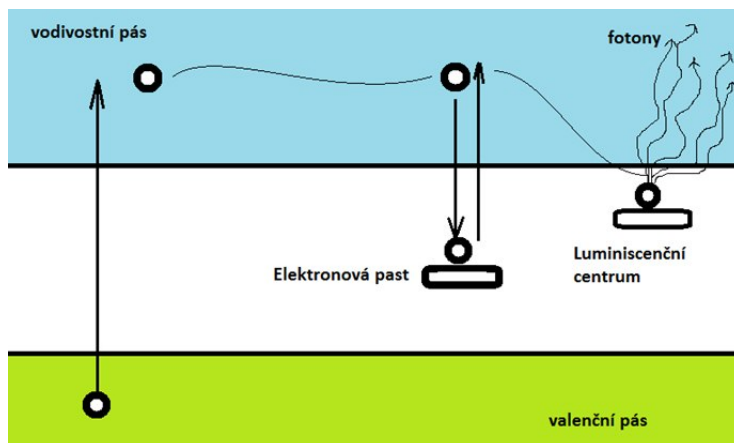


Figure 3: Grafické znázornění termoluminiscenční dozimetrie

Na ohřevnou desku přístroje se umístí dozimetr a pomocí postupného zvyšování teploty se elektrony uvolňují. Vyzářené fotony se následně zachytí fotodiodou a pomocí fotonásobiče se elektrický signál z fotodiody zesílí na měřitelnou hodnotu. Výsledná dávka lineárně odpovídá měřenému elektrickému náboji.

3 Legenda

označení veličin:

m...počet dozimetrů v jedné skupině
z_j...termoluminiscenční odezva *j*-étého dozimetru
f_z...aritmetický průměr
s_{zj}...směrodatná odchylka stanovení termoluminiscenční odezvy
s_z...směrodatná odchylka průměru změřené odezvy
x_j...nejvyšší hodnota měření v dané skupině dozimetrů
k...konstanta (pro *m* = 7 je *k* = 5, pro *m* = 5 je *k* = 6,5, atd.)
x_i...nejnižší hodnota měření v dané skupině dozimetrů
D...dávka [Gy]
a, b...koeficienty kalibrační přímky
y...termoluminiscenční odezva pro dávku *D* (podle kalibrační přímky)
n...počet různých dávek použitých pro výpočet kalibrační přímky
D_i...dávka pro *i*-tý dozimetr
y_i...termoluminiscenční odezva pro *i*-tý dozimetr
s_{y,D}...směrodatná odchylka rozptýlení kolem regresivní přímky
s_a...neurčitost směrnice *a*
s_{Dx}...rozptyl dávky určené měřením skupiny dozimetrů ozářené stejnou dávkou

4 Měření

Pro náš pokus budeme používat dozimetry TLD100 složené z fluoridu litného (+ Mn a Ti). Našich 35 dozimetrů jsme rozdělili na 5 skupin po 7 dozimetrech. 3 z těchto skupin jsme ozářili Kobaltem-60. Pro zjištění dávkového příkonu zářiče spočítáme, jaká část kobaltu již prošla přeměnou. Nám známé bylo, že v prosinci 2011 vyzařoval Kobalt-60 53 Grayů za hodinu. Od prosince 2011 k dnešnímu datu (k červnu 2023) uběhlo 11,5 roku. Poločas rozpadu Kobaltu-60 je 5,3 roku. Z toho vyplývá, že chceme-li látku ozářit 1 Grayem, musíme ji Kobaltu vystavit na 5 minut a 7 sekund. Skupiny jsme chtěli ozářit 2, 4 a 6 Grayi. Ozařovali jsme ve 3 intervalech po 10 minutách a 14 sekundách. Následně jsme dozimetry vyhodnotili pomocí vyhodnocovacího přístroje Harshaw Model 3500 Manual TLD Reader. Ten funguje na principu zahřátí dozimetru, při kterém dojde k luminiscenci, kterou zachytí integrátor. Tento proces jsme zopakovali pro každý dozimetr včetně 7 kontrolních (neozářených) a 7, které byly vystaveny neznámé dávce radiace. Dáje jsme se zabývali zpracováním dat. Známé nám byly dávky u 4 skupin dozimetrů a termoluminiscenční odezva (=i náboj) u všech dozimetrů za pomocí vyhodnocovacího přístroje. Začali jsme zprůměrováním skupin dozimetrů, vypočtením směrodatné odchylky a směrodatné odchylky průměru.

$$f_z = \frac{\sum_{j=1}^m z_j}{m} \quad (1)$$

$$s_{zj} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (z_j - f_z)^2}{m - 1}} \quad (2)$$

$$s_z = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (z_j - f_z)^2}{(m - 1) m}} \quad (3)$$

Následovalo vyloučení krajních hodnot, na což jsme využili metodiku vylučování odlehlých bodů.

$$x_j > f_z + k \times s_{zj} \quad (4)$$

$$x_i < f_z - k \times s_{zi} \quad (5)$$

Následně jsme za pomoci metody nejmenších čtverců sestrojili kalibrační přímku (dávka-termoluminiscenční odezva), načež jsme vypočítali chybu směrnice této závislosti.

$$y = a \times D + b \quad (6)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n y_i - n \sum_{i=1}^n D_i y_i}{(\sum_{i=1}^n D_i)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (7)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (8)$$

$$s_{y,D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - b - aD_i)^2}{(n-2)}} \quad (9)$$

$$s_a = \frac{s_{y,D}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n D_i^2 - (\sum_{i=1}^n D_i)^2}{n}}} \quad (10)$$

Poté bylo třeba vypočítat chybu měření dávky v závislosti na velikosti dávky.

$$s_{Dx} = \frac{s_z}{a} \sqrt{\left[\frac{1}{n} + \frac{1}{m} + \left(\frac{s_a}{a \times s_z} \right)^2 \times (f_z - b)^2 \right]} \quad (11)$$

Poté, co jsme zjistili, že chyba je minimální, použili jsme kalibrační křivku k určení neznámé dávky. Výsledkem našeho bádání bylo, že poslední sada vykazovala dávku 2,390 Graye. Z toho vyplývá, že dozimetry 4. skupiny byly ozařované 12 minut a 14 sekund.

5 Shrnutí

Z měření jsme se dověděli, že v oblasti vysokých hodnot dávky (1-10 Gy) je vztah výstupního náboje určeného termoluminiscenční dozimetru a dávky téměř lineární. Vzhledem k jednoduchosti lineární křivky není určení dávky z naměřeného náboje složité. Tohoto vztahu by bylo možné využít v osobních dozimetrech pro měření dlouhodobějšího vystavení ionizujícímu záření, v profesích jako je například lékařský fyzik, pracovník jaderné elektrárny nebo příslušného výzkumného ústavu.

Poděkování

Poděkování patří hlavně našemu konzultantovi Ing. Tomáši Urbanovi, Ph.D. za odborné poradenství a celkovou asistenci. Dále děkujeme FJFI a organizátorů TV@J 2023 za poskytnutí prostor a potřebných přístrojů.

References

- [1] HOROWITZ, Y.S. (Ed.). *Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry*. Vol. I-III. Boca Raton, CRC Press, 1984.
- [2] MUSÍLEK L., ŠEDA J., TROUSIL J. *Dozimetrie ionizujícího záření (Integrovaná metoda)*. ČVUT, 1992 (skripta)