



تعیین دز یک چشمه رادیوایزوتوپی نوترون توسط دزیمترهای ترمولومینسانس

صدر ممتاز، علیرضا - طاهرپرور، پیوند - غلامی، سپیده*

دانشگاه گیلان، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

نوترون‌ها کاربردهای زیادی در مکان‌های مختلف مانند مراکز پزشکی، تجهیزات صنعتی و تاسیسات هسته‌ای دارند. به همین دلیل دزسنجی نوترون برای حفظ سلامتی افراد در معرض این پرتو، مسئله‌ی بسیار مهمی است. یکی از راه‌های موثر دزیمتری نوترون، استفاده از زوج دزیمتر ترمولومینسانس TLD-600/700 است. در این مقاله به منظور اندازه‌گیری میزان دز نوترون حاصل از چشمه‌ی نوترونی Ra-Be موجود در آزمایشگاه هسته‌ای دانشگاه گیلان، از زوج دزیمترهای مذکور در سه فاصله‌ی مختلف از چشمه استفاده شد. سرانجام با محاسبه‌ی دز نوترونی به کمک شار چشمه و تخمین ضریب کالیبراسیون، میزان دز اندازه‌گیری شده توسط TLDها تعیین و با مقدار دز محاسبه شده مقایسه شد.

کلمات کلیدی: چشمه نوترونی، دزیمتری نوترون، دزیمتر ترمولومینسانس، TLD-600/700

Determination of the dose of a neutron radioisotope source by thermoluminescence dosimeters

Sadremomtaz, Alireza; Taherparvar, Payvand; Gholami, Sepideh*

University of Guilan, Faculty of Science, Department of Physics

Abstract

Neutrons have many applications in different places, such as medical centers, industrial equipment and nuclear facilities. Neutron dosimetry is a very important issue for the health of people who are exposed to this radiation. One of the effective ways of neutron dosimetry is the use of the TLD-600/700 thermoluminescence dosimeter pair. In this paper, in order to measure the neutron dose from the Ra-Be neutron source in the Nuclear Laboratory of University of Guilan, several pairs of mentioned dosimeters were used in three different distances from the source. Finally, by calculating the neutron dose with help of source flux and estimating the calibration coefficient, the dose rate measured by TLDs was determined and compared with the calculated dose level.

Keyword: Neutron source, Neutron dosimetry, Thermoluminescence dosimeter, TLD-600/700

مقدمه :

تخمین دز نوترون روی بدن انسان در حفاظت تابشی، برای کارکنان در معرض این تابش در مکان‌های مختلف یک چالش بسیار مهم است. از این رو استفاده از دزیمترهایی که می‌توانند نوترون را اندازه‌گیری کنند یک الزام در بسیاری از کشورهاست. بسیاری از دزیمترهای نوترون با هدف آشکارسازی نوترون‌های حرارتی و نیمه‌حرارتی طراحی می‌شوند. دزیمترهای ترمولومینسانس به دلیل ویژگی‌های خوبشان در زمینه‌ی آشکارسازی تابشی، از گذشته تاکنون مورد توجه بوده‌اند. از رایج‌ترین روش‌های دزیمتری میدان نوترونی توسط دزیمترهای ترمولومینسانس، استفاده از زوج دزیمتر TLD-600/700 است [۱]. بررسی تفاوت‌های منحنی‌های درخشش TLD-600 و TLD-700 توسط کواویری و همکارانش در سال ۲۰۱۳ [۲] و همچنین مقایسه‌ی پاسخ‌های TLDهای مختلف توسط پایوا و همکارانش در سال ۲۰۱۵ [۳] نمونه‌هایی از کارهای انجام شده در این زمینه هستند. از آنجایی که ایزوتوپ ${}^6\text{Li}$ سطح مقطع گیراندازی نوترون حرارتی بالایی

دارد؛ TLD-600 به دلیلی غنی بودن از ${}^6\text{Li}$ به نوترون‌های حرارتی و گاما حساس است در حالی که TLD-700 فقط حساس به گاما است. جدول (۱) درصد‌های نسبی ${}^6\text{Li}$ و ${}^7\text{Li}$ در این دو دزیمتر را نشان می‌دهد [۱].

جدول ۱. درصد‌های نسبی TLD-600 و TLD-700 [۱]

نوع فسفر	${}^6\text{Li}$ (%)	${}^7\text{Li}$ (%)
TLD-600	۹۵/۶	۴/۴
TLD-700	۰/۰۱	۹۹/۹۹

برای محاسبه‌ی دز جذبی نوترون توسط زوج دزیمترهای TLD-600/700، باید اختلاف پاسخ این دزیمترها در ضریب کالیبراسیون ضرب شود، به طوری که مقدار دز می‌تواند از رابطه‌ی (۱) بدست آید [۴]:

$$D = \Delta R \times K \quad (1)$$

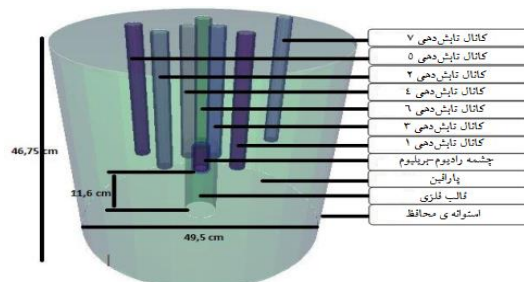
که D دز جذبی، ΔR اختلاف پاسخ زوج دزیمتر و k ضریب کالیبراسیون است. برای تعیین ضریب کالیبراسیون، باید نمودار دز داده شده به دزیمترها برحسب اختلاف پاسخ اندازه‌گیری شده از آن‌ها رسم و شیب این نمودار محاسبه شود. آهنگ دز جذبی دزیمترها از طریق رابطه‌ی (۲) تعیین می‌شود [۵]:

$$\dot{D} = \varphi \sum_i n_i \sum_{ij} \sigma_{ij} (\Delta E_{ij}) / M \quad (2)$$

که φ شار نوترون، n تعداد هسته‌های هدف n آمین جزء ماده، σ_{ij} سطح مقطع n آمین هسته برای n آمین فرآیند پراکندگی، ΔE_{ij} انرژی از دست رفته توسط نوترون در آن رویداد و M جرم ماده جاذب است.

روش کار :

اندازه‌گیری میزان دز نوترونی حاصل از چشمه‌ی نوترونی در آزمایشگاه هسته‌ای دانشگاه گیلان انجام پذیرفت. چشمه‌ی مورد استفاده، یک چشمه رادیوم-بریلیوم با اکتیویته ابتدایی 3 mCi و ساخت شرکت LEYBOLD-HERAEUS در کشور آلمان است. این چشمه به دلیل تابش گاما و نوترون‌های سریع، توسط سرب، پارافین و یک حفاظ فاصله محافظت می‌شود. درون پارافین اطراف چشمه چندین کانال با طول ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۳ سانتی‌متر در سه فاصله‌ی ۷، ۱۴ و ۲۰ سانتی‌متری از چشمه برای تابش‌دهی دزیمترها ایجاد شده است. ابعاد و چگونگی قرارگیری چشمه Ra-Be و کانال‌های تابش‌دهی اطراف آن و همچنین نمای ظاهری آن به ترتیب در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است [۶].

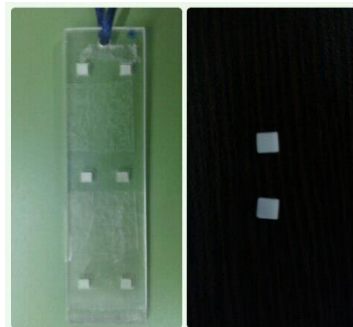


شکل ۱. نحوه‌ی آرایش و قرارگیری چشمه نوترون و کانال‌های تابش‌دهی اطراف آن



شکل ۲. شکل ظاهری چشمه نوترون حفاظدار

در این کار همچنین از زوج دزیمترهای ترمولومینسانس TLD-600/700 استفاده شد. شکل (۳) نمونه‌ای از این دزیمترها (که دارای ابعاد $3/1 \times 3/1 \times 0/8 \text{ mm}^3$ هستند) و محفظه‌هایی را که برای آن‌ها طراحی شد و مورد استفاده قرار گرفت، نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمونه‌ای از زوج TLDها و محفظه‌ی طراحی شده برای جایگزینی آن‌ها

مراحل انجام کار به این صورت بود که دزیمترهای ترمولومینسانس TLD-600/700 به مدت ۲۴ ساعت درون کانال‌های اطراف چشمه تحت تابش دهی قرار گرفتند و اطلاعات آن‌ها توسط قرائتگر مدل ۳۵۰۰ هارشا و نرم‌افزار WinREMS قرائت [۷] و سرانجام به کمک ضریب کالیبراسیون به دز جذبی تبدیل شدند.

نتایج :

همانطور که در بخش قبل اشاره شد دزیمترها پس از تابش دهی تحت خوانش قرار می‌گیرند. جدول (۲) متوسط پاسخ و اختلاف پاسخ دزیمترها در هر فاصله را نشان می‌دهد (با وجود اینکه TLDها در ارتفاع متفاوتی از چشمه در هر فاصله قرار گرفتند (شکل (۳))، اما پاسخ‌هایشان بسیار به هم نزدیک است و این اختلاف ارتفاع، تاثیری در دز جذبی آنها ندارد).

جدول (۲). متوسط پاسخ و اختلاف پاسخ TLD-600 و TLD-700 در فواصل مختلف از چشمه

ΔR (nC)	$R_{TLD-700}$ (nC)	$R_{TLD-600}$ (nC)	فاصله از چشمه (cm)
۳۴/۸۸	۲۵/۷۸	۶۰/۶۶	۷
۱۹/۸۳	۱۰/۳۹	۳۰/۲۲	۱۴
۲/۹۱	۸/۵۷	۱۱/۴۸	۲۰

قبل از تعیین دز جذبی نوترونی چشمه Ra-Be، باید به این نکته اشاره شود که در شارهای نوترونی پایین، از حساسیت TLD-700 به نوترون‌ها صرف نظر می‌شود. بنابراین برای تعیین ضریب کالیبراسیون، فقط محاسبه-ی دز جذبی نوترون TLD-600 کافی است و دز جذبی ناشی از نوترون TLD-700 نادیده گرفته می‌شود. به عبارتی دیگر در چشمه‌های نوترونی دارای شار پایین، دز جذب شده توسط TLD-700 فقط ناشی از پرتوهای گاما است و این نوع TLD به نوترون‌های حرارتی حساسیتی ندارد [۶]. با توجه به سهم ایزوتوپ-های ${}^6\text{Li}$ و ${}^7\text{Li}$ در TLD-600 رابطه‌ی (۲) به شکل رابطه‌ی (۳) نوشته می‌شود:

$$\dot{D} = \frac{\Phi}{M} (0.95\% (n \times \sigma_{\epsilon_{\text{Li}}} \times \Delta E_{\epsilon_{\text{Li}}}) + 4.5\% (n \times \sigma_{\gamma_{\text{Li}}} \times E_{\gamma_{\text{Li}}})) \quad (3)$$

مقادیر شار نوترونی مربوط به ۳۰ سال قبل سه فاصله‌ی مذکور از چشمه، که در کاتالوگ این چشمه موجودند [۶] با گذشت زمان کاهش خواهند یافت. مقادیر کنونی آن‌ها در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. مقدار شار نوترون چشمه‌ی Ra-Be در فواصل مختلف

شار نوترون (n/cm ² .s)	فاصله از چشمه (cm)
۹۸/۷۱	۷
۴۸/۹۷	۱۴
۲۴/۶۷	۲۰

جرم دزیمترهای لیتیوم فلوراید مورد استفاده نیز برابر $20/3 \times 10^{-6} \text{ kg}$ است. مرحله‌ی بعدی، تعیین پارامترهای باقیمانده است. تعداد هسته‌های هدف از رابطه‌ی (۴) تعیین می‌شود:

$$n = \frac{v \times \rho}{A} \times 6.03 \times 10^{23} \quad (4)$$

که در اینجا v حجم، ρ چگالی و A جرم اتمی لیتیوم فلوراید است. بنابراین:

$$n = \frac{3.1 \times 3.1 \times 8 \times 10^{-4} \times 2.64 \times 6.03 \times 10^{23}}{26} = 47.07 \times 10^{19} \quad (5)$$

اما تنها مقادیر متفاوت مربوط به دو ایزوتوپ ${}^6\text{Li}$ و ${}^7\text{Li}$ در رابطه‌ی (۳)، سطح مقطع گیراندازی نوترون حرارتی و انرژی از دست رفته‌ی آن است که این مقادیر در جدول (۴) آورده شده‌اند.

جدول ۴. مقادیر سطح مقطع گیراندازی نوترون حرارتی و انرژی آزاد شده دو ایزوتوپ ${}^6\text{Li}$ و ${}^7\text{Li}$ [۹]

واکنش هسته‌ای	انرژی (MeV)	سطح مقطع گیراندازی (b)
${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$	$E({}^3\text{H})= 2/72$ $E(\alpha)=2/0.6$	۹۶۰
${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$	$E(\gamma)=2/0.6$	36×10^{-3}

بنابراین با قرار دادن این مقادیر و پارامترها در رابطه ی (۳)، مقدار آهنگ دز نوترونی در سه فاصله ی مختلف از چشمه بدست می آید:

آهنگ دز جذبی در فاصله ی ۷ سانتی متر:

$$\dot{D} = 1.62 \times 10^{-6} \text{ Gy/s} \quad (۶)$$

آهنگ دز جذبی در فاصله ی ۱۴ سانتی متر:

$$\dot{D} = 8.04 \times 10^{-7} \text{ Gy/s} \quad (۷)$$

آهنگ دز جذبی در فاصله ی ۲۰ سانتی متر:

$$\dot{D} = 4.10 \times 10^{-7} \text{ Gy/s} \quad (۸)$$

گام بعدی تعیین دز جذبی در مدت ۲۴ ساعت (۸۶۴۰۰ ثانیه) است:

دز جذبی در فاصله ی ۷ سانتی متر:

$$D = 1.62 \times 10^{-6} \times 86400 = 0.14 \text{ Gy} \quad (۹)$$

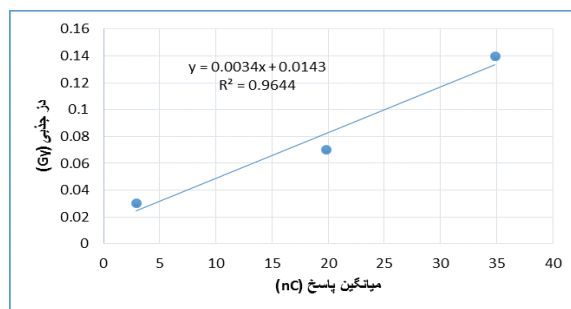
دز جذبی در فاصله ی ۱۴ سانتی متر:

$$D = 8.04 \times 10^{-7} \times 86400 = 0.07 \text{ Gy} \quad (۱۰)$$

دز جذبی در فاصله ی ۲۰ سانتی متر:

$$D = 4.10 \times 10^{-7} \times 86400 = 0.04 \text{ Gy} \quad (۱۱)$$

حال برای محاسبه ی ضریب کالیبراسیون، باید نمودار دز جذبی بر حسب میانگین پاسخ دزیمترها رسم و شیب خط آن محاسبه شود:



شکل ۳. نمودار دز جذبی بر حسب میانگین پاسخ دزیمترها

بنابراین همانطور که از شکل (۳) پیداست ضریب کالیبراسیون برابر 0.0034 Gy/nC است. در مرحله ی آخر، برای تعیین دز جذبی ناشی از پاسخ نوترون اندازه گیری شده توسط زوج دزیمترها، باید اختلاف پاسخ آنها در هر فاصله را در ضریب کالیبراسیون ضرب کنیم:

مقدار دز جذبی در فاصله ی ۷ سانتی متر:

$$D_{\text{TLD-600/700}} = 34.88 \times 0.0034 = 0.12 \text{ Gy} \quad (۱۲)$$

مقدار دز جذبی در فاصله ی ۱۴ سانتی متر:

$$D_{\text{TLD-600/700}} = 19.83 \times 0.0034 = 0.07\text{Gy} \quad (13)$$

مقدار دز جذبی در فاصله ی ۲۰ سانتی متر:

$$D_{\text{TLD-600/700}} = 2.91 \times 0.0034 = 0.01 \text{ Gy} \quad (14)$$

بحث و نتیجه گیری :

همانطور که در ابتدا بیان شد، هدف این مقاله تعیین دز نوترونی چشمه ی Ra-Be در سه فاصله ی ۷، ۱۴ و ۲۰ سانتی متری از آن توسط زوج دزیمتر TLD-600/700 بود که جزئیات مربوط به محاسبات آن به طور کامل توضیح داده شد. با مقایسه ی مقادیر بدست آمده از روابط (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) با مقادیر محاسبه شده در معادلات (۹)، (۱۰) و (۱۱) می توان نتیجه گرفت که در دو فاصله ی ۷ و ۱۴ سانتی متری از چشمه، مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده ی دز جذبی نوترونی توافق خوبی با هم دارند. اما به دلیل شار بسیار کم نوترون در فاصله ی ۲۰ سانتی متری از چشمه، دقت دزیمترها در شمارش نوترون ها کاهش می یابد و کمی تفاوت در مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده دیده می شود. به طور کلی منابع اصلی عدم قطعیت کل در تخمین دز جذبی می تواند ناشی از دو مولفه باشد: خطاهای تصادفی و خطاهای سیستماتیک. به دلیل تعداد پایین شمارش ها، خطاهای تصادفی بالا می ماند و از طرفی دیگر چون خطاهای سیستماتیک به شرایط آزمایشگاهی بستگی دارد می تواند در نتیجه ی کل تاثیر گذار باشد.

مراجع :

- [1] Ayadogan. I, Yilmazer. A, "Usage of Lif-TLD100 Detector and B₄C Filter in Neutron Dosimetry", 24th International Conference Nuclear Energy for New Europe, Slovenia, 1-8, 2015.
- [2] Cavalieri. T. A, Castro. V. A, Siqueira. T. D, "Differences in TLD600 and TLD700 Glow Curves Derived From Distict Mixed Gamma/Neutron Field Irradiations", International Nuclear Atomic Conference, Brazil, 1-9, 2013.
- [3] Paiva. F, Siqueira. P. D, "Comparing The Responses of TLD100 TLD600 TLD700 and TLD400 in Mixed neutron-Gamma Fields", International Nuclear Atlantic Conference, Brazil, 1-6, 2015.
- [4] MuKherjee. B, Lambert. J, Hentschel. R, Negodin. E, Farr. J, "An Ultra Sensitive Fast Neutron Area Monitor Using Gadolinium Covered Aluminium Oxide Dosimeter (TLD-500) Chips", Radiation Measurements 46,1698-1700, 2011.
- [5] Sarkar. R, Mondal. P. K, Chatterjee. B. K, "An Alternative Method for The Measurement of Neutron of Neutron flux", Journal of Physics, Vol. 85, No. 4, 685-690, 2015.
- [6] LEYBOLD-HERAEUS GMBH, "Catalogue on Shielded Source of Neutrons", Germany, LEYBOLD-HERAEUS, 1987.
- [7] S.Gobain, "Catalogue on Harshaw Model 3500 TLD Reader and WinReMs Saint-Gobain, Ohio, Us, 2002.
- [8] Cavalieri. T. A, Castro. V. A, Siqueira. T. D, "Differences in TLD600 and TLD700 Glow Curves Derived From Distict Mixed Gamma/Neutron Field Irradiations", International Nuclear Atomic Conference, Brazil, 1-9, 2013.
- [9] Manouchehri. F, Torkzadeh. F, Mirzajani. N, Jalilian. Sh, "Thermal Neutron Fluence Measurement Using Thermoluminescence Dosimeter TLD-600", Journal of Nuclear Sci. and Tech, No. 42, 1-6, 2008.