



تعیین دز گاما در میدان آمیخته‌ی نوترون-گاما با استفاده از دزیمترهای ترمولومینسانس (LiF:Mg, Ti(TLD-600))

مصطفی زاهدی فر*^۱، منصور جعفری زاده^۲، احسان صادقی^۱، حامد شاخوسی^۱

۱. گروه فیزیک، دانشگاه کاشان، صندوق پستی: ۵۱۱۶۷-۸۷۳۱۷، کاشان - ایران
۲. امور حفاظت در برابر اشعه، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران - ایران

چکیده: در این مقاله با استفاده از نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم منحنی درخشندگی دزیمتر ترمولومینسانس TLD-600، دز گاما در میدان آمیخته‌ی نوترون-گاما مشخص شده است. ابتدا نمونه‌ها توسط چشمه‌های Am-Be و ¹³⁷Cs تحت تابش به ترتیب نوترون و گاما قرار گرفتند. میزان پرتو دهی توسط چشمه‌ها به گونه‌ای تغییر داده شد که میزان دز گاما از ۲۰ تا ۵۲٪ دز کل متغیر باشد. با استفاده از برنامه‌ی کامپیوتری مبتنی بر الگوریتم لونبرگ-مارکارت و به کمک مدل مرتبه‌ی عام ترمولومینسانس، منحنی درخشندگی نمونه‌های تحت تابش، تفکیک و نسبت شدت قله‌ی چهارم به پنجم محاسبه و این نسبت به سهم دز گاما و نوترون در میدان تابشی کل ارتباط داده شد.

کلید واژه‌ها: ترمولومینسانس، دزیمتری نوترون، میدان آمیخته‌ی نوترون-گاما، روش دو قله‌ای

The Estimation of Gamma Dose in a Mixed Neutron-Gamma Radiation Field Using LiF:Mg,Ti (TLD-600) Thermoluminescence Dosimeter

M. Zahedifar*¹, M. Jafarizadeh², E. Sadeghi¹, H. Shakhusi¹

1. Physics Department, University of Kashan, P.O.Box: 87317-51167, Kashan - Iran
2. National Radiation Protection Department, AEOL, P.O.Box: 14155-4494, Tehran - Iran

Abstract: In this work the ratio of the 4th peak to the 5th peak of a LiF:Mg,Ti (TLD-600) thermoluminescence dosimeter has been used to estimate the gamma dose in a mixed neutron-gamma radiation field. The samples were first exposed to the known neutron and gamma doses from Am-Be and ¹³⁷Cs sources. Then, the contribution of the gamma dose in the mixed field was changed from 20% to 52% of the total dose. For this purpose by employing a computer program based on Levenberg-Marquart algorithm, and by using thermoluminescence general order model for the glow profile deconvolution, the ratio of the 4th to 5th peaks was determined. Finally, the peak ratios have been related to the contribution of the gamma dose in the mixed neutron gamma radiation field.

Keywords: Thermoluminescence, Neutron Dosimetry, Mixed Neutron-Gamma Field, Two Peak Method



۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائلی که در دزیمتری نوترون وجود دارد، تعیین میزان دز گاما در میدان‌های نوترونی می‌باشد. از جمله‌ی روش‌های مورد استفاده برای تعیین میزان دز گاما در میدان‌های آمیخته، روش دو قله‌ای است [۱]. در این روش از نسبت شدت قله‌های منحنی درخشندگی دزیمتر ترمولومینسانس $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ [۲ و ۳] و یا $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$ [۴ و ۵] استفاده می‌شود.

یکی از روش‌های معمول برای دزیمتری میدان‌های آمیخته استفاده از نسبت قله‌ی هفتم به قله‌ی پنجم در منحنی درخشندگی دزیمتر ترمولومینسانس $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$ است که البته دارای مشکلاتی است که از آن جمله می‌توان به ظهور قله‌ی هفتم در دزهای بیش از ۲ میلی‌گری اشاره کرد [۶]. از اشکالات دیگر این روش بستگی شدت قله‌ی هفتم به انرژی پرتو گامای فرودی را می‌توان نام برد [۷ و ۸]. این، سبب می‌گردد که شدت قله علاوه بر دز، به انرژی پرتو گاما نیز بستگی داشته باشد. هم‌چنین دمای بیشینه‌ی قله‌ی هفتم در حدود ۲۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است که این عامل سبب کاهش دقت اندازه‌گیری شدت آن می‌شود.

در سال ۱۹۹۶ گزارش‌هایی مبنی بر استفاده از نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم در منحنی درخشندگی دزیمتر ترمولومینسانس $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$ برای دزیمتری گاما در میدان‌های آمیخته ارایه شد [۹]. هم‌چنین تلاش‌هایی برای تعیین نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم به منظور تعیین دز گاما از طریق تفکیک منحنی درخشندگی دزیمتر ترمولومینسانس و تبدیل آن به منحنی‌های تک قله‌ای صورت گرفت [۱۰ و ۱۱].

در سال ۱۹۹۸ تفکیک منحنی درخشندگی دزیمتر ترمولومینسانس با استفاده از برنامه‌ی کامپیوتری و با بهره‌گیری از مدل مرتبه‌ی اول ترمولومینسانس به انجام رسید که در آن میزان دز گاما در میدان آمیخته از ۰٫۲ تا ۱۰٪ دز کل در تغییر بود [۱۲]. اخیراً مطالعات مختلفی با استفاده از دزیمترهای ترمولومینسانس در میدان‌های آمیخته‌ی نوترون-گاما انجام شده است. در سال ۲۰۰۷ از TLD-600 برای دزیمتری میدان‌های مرکب نوترون-گاما براساس ساختارهای متفاوت منحنی درخشندگی به دنبال پرتو دهی با نوترون و گاما استفاده شد [۱۳]. هم‌چنین مقایسه‌ای بین سه دزیمتر TLD-600، TLD-700 و

$\text{LiF}:\text{Mg},\text{Cu},\text{P}$ در میدان‌های مرکب نوترون و گاما صورت گرفت [۱۴].

در پژوهشی که مقاله‌ی حاضر حاصل آن است، میزان دز گاما از ۲۰ تا ۵۲٪ دز کل تغییر داده شده و در هر مرحله با استفاده از نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم سهم دز گاما در میدان کل تعیین شد. برای تفکیک منحنی درخشندگی دزیمتر ترمولومینسانس، از برنامه‌ی کامپیوتری مبتنی بر الگوریتم لونیرگ-مارکارت^(۱) (روش کم‌ترین مربعات)، تهیه شده در آزمایشگاه ترمولومینسانس دانشگاه کاشان، استفاده شد. این برنامه برای برآزش نقاط تجربی از مدل سینتیکی مرتبه‌ی عام استفاده می‌کند.

۲. تحلیل میدان‌های آمیخته

در تحلیل میدان‌های آمیخته، اولین قدم نوشتن شدت قله‌های چهارم و پنجم به صورت حاصل جمع شدت‌های ناشی از پرتوگیری گاما و نوترون است. بدین صورت اگر I_{4m} و I_{4n} به ترتیب، شدت قله‌های چهارم و پنجم در میدان آمیخته باشد، خواهیم داشت [۱۲]

$$I_{4m} = I_{4gm} + I_{4nm} \quad (1)$$

$$I_{5m} = I_{5gm} + I_{5nm} \quad (2)$$

که در آن I_{4gm} و I_{4nm} سهم دز گاما در شدت قله‌های به ترتیب، چهارم و پنجم و I_{5gm} و I_{5nm} سهم دز نوترون در شدت قله‌های به ترتیب، چهارم و پنجم است.

با استفاده از روابط (۱) و (۲) می‌توان نسبت شدت دز گاما به شدت میدان کل در قله‌ی پنجم را چنین نوشت

$$x = I_{5g}/I_{5m} = (R_{m4,5} - R_{n4,5}) / (R_{g4,5} - R_{n4,5}) \quad (3)$$

که در آن $R_{gF,d} = \frac{I_{Fg}}{I_{\Delta g}}$ نسبت شدت قله چهارم به قله پنجم در میدان خالص گاما، $R_{nF,d} = \frac{I_{Fn}}{I_{\Delta n}}$ نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم در میدان خالص نوترون و $R_{mF,d} = \frac{I_{Fm}}{I_{\Delta m}}$ نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم در میدان آمیخته است.



رابطه‌ی فوق به شکل زیر اثبات می‌شود

$$X = \frac{I_{4m} - I_{4n}}{I_{5m} - I_{5n}} = \frac{(I_{4m}I_{5n} - I_{4n}I_{5m})I_{5g}}{I_{5m}(I_{5n}I_{4g} - I_{4n}I_{5g})}$$

$$I_{4m}I_{5n} - I_{4n}I_{5m} = (I_{4g} + I_{4n})I_{5n} - I_{4n}(I_{5g} + I_{5n}) = I_{4g}I_{5n} + I_{4n}I_{5n} - I_{4n}I_{5g} - I_{4n}I_{5n} = I_{5n}I_{4g} - I_{4n}I_{5g}$$

و در نهایت به رابطه زیر می‌رسیم

$$X = I_{5g}/I_{5m}$$

با استفاده از رابطه‌ی (۳) داریم

$$u = \frac{R_{m4,5} - R_{n4,5}}{R_{g4,5} - R_{n4,5}} \left(\frac{R_{m4,5} - R_{n4,5}}{R_{g4,5} - R_{n4,5}} + w \left(1 - \frac{R_{m4,5} - R_{n4,5}}{R_{g4,5} - R_{n4,5}} \right) \right)$$

$$= \frac{R_{m4,5} - R_{n4,5}}{R_{m4,5} - R_{n4,5} + w(R_{g4,5} - R_{m4,5})}$$

$$= \frac{R_{m4,5} - R_{n4,5}}{(R_{m4,5} - R_{n4,5})(1-w) + w(R_{g4,5} - R_{n4,5})}$$

رابطه‌ی (۷)، برای اندازه‌گیری دز بسیار مفید است. هم‌چنان که مشاهده می‌شود نسبت دز گاما به دز کل برحسب پارامترهای قابل اندازه‌گیری نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم در میدان‌های آمیخته، خالص نوترون و خالص گاما بیان می‌شود. با اندازه‌گیری نسبت‌های فوق از منحنی درخشندگی دزیمتر ترمولومینسانس می‌توان u را محاسبه کرد.

بدین ترتیب مشاهده می‌شود که با اندازه‌گیری سه نسبت $R_{m4,5}$ ، $R_{g4,5}$ و $R_{n4,5}$ می‌توان نسبت شدت میدان گاما به شدت کل را در قله‌ی پنجم تعیین کرد. برای این کار، این شدت را باید به میزان دز ربط داد.

میان شدت قله‌ی پنجم و میزان دز دریافتی در میدان‌های گاما و نوترون می‌توان روابط کالیبراسیون زیر را نوشت

$$I_{5n} = a_n D_n \quad (۴)$$

$$I_{5g} = a_g D_g \quad (۵)$$

که در آن، a_n و a_g شدت قله‌ی پنجم به ازای واحد دز دریافتی از میدان‌های به ترتیب، نوترون و گاما هستند. نسبت دز گاما به دز کل به صورت زیر نوشته می‌شود

$$u = D_g / (D_g + D_n) \quad (۶)$$

با استفاده از روابط (۱) تا (۵) و با تعریف w به صورت a_g/a_n ، رابطه‌ی (۶) را می‌توان چنین نوشت

$$u = (R_{m4,5} - R_{n4,5}) / [(R_{m4,5} - R_{n4,5})(1-w) + (R_{g4,5} - R_{n4,5})w] \quad (۷)$$

رابطه‌ی (۷) را می‌توان به شکل زیر به دست آورد

$$u = \frac{I_{\Delta g} / a_g}{I_{\Delta g} / a_g + I_{\Delta n} / a_n} = \frac{I_{\Delta g}}{w \left(\frac{I_{\Delta g}}{w} + I_{\Delta n} \right)}$$

$$= \frac{I_{5m} X}{w \left(\frac{I_{5m} X}{w} + I_{5m} - I_{5m} X \right)} = \frac{X}{X + w(1-X)}$$

۳. روش تجربی

به منظور تخلیه‌ی ترازهای گیرانداز بلورهای TLD-600، این بلورها ابتدا در دمای ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت و سپس در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و به مدت ۲ ساعت قرار داده شدند. سپس با استفاده از صفحه‌ی مسی نمونه‌ها تا دمای محیط سرد شدند.

پس از انجام عملیات گرمادهی، نمونه‌ها با استفاده از پرتوهای گامای حاصل از واپاشی ^{137}Cs و با استفاده از چشمه‌ی نوترونی Am-Be پرتودهی شدند. البته، میدان Am-Be یک میدان خالص نوترون نیست. استفاده از دزیمترهای مستقل نوترون و گاما نشان داد که سهم دز گاما در میدان فوق حدود ۲۰٪ دز کل است. لذا در کلیه‌ی محاسبات از جمله مقادیر $R_{m4,5}$ و در جدول‌ها و شکل‌ها سهم گاما در میدان آمیخته‌ی Am-Be لحاظ شده است. از این‌رو نتایج این مقاله در خصوص تعیین سهم گاما در میدان آمیخته‌ی گاما-نوترون نسبت به مرجع ۱۲ که سهم گاما را در میدان Am-Be نادیده انگاشته است از دقت بیش‌تری برخوردارند. پس از پرتودهی، نمونه‌ها به منظور حذف قسمت‌های ناپایدار منحنی درخشندگی به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شدند.

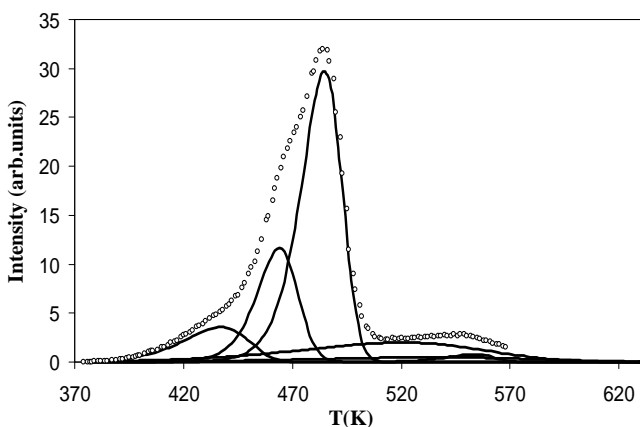
۵. نتایج و بحث

در شکل‌های ۱ و ۲ منحنی‌های درخشندگی دزیمترهای ترمولومینسانس TLD-600 پرتودهی شده در میدان تابش Am-Be و ^{137}Cs تفکیک شده‌اند. در جدول ۱ نیز می‌توان پارامترهای سینتیکی محاسبه شده برای این دو منحنی درخشندگی را ملاحظه کرد. در برازش‌های انجام شده در این مقاله مقدار رقم شایستگی بین ۰/۸۸ تا ۱/۵٪ در تغییر بوده است که این، نشان‌دهنده‌ی کیفیت مناسب برازش منحنی‌ها می‌باشد. برازش منحنی‌های درخشندگی متناظر با میدان تابش پرتوهای گامای ^{137}Cs و نوترون‌های Am-Be با استفاده از رابطه‌ی (۸) و به منظور محاسبه‌ی $R_{n4,5}$ و $R_{g4,5}$ انجام پذیرفت. در محاسبه‌ی $R_{n4,5}$ تصحیح مربوط به سهم گاما در میدان تابش Am-Be نیز انجام شده است.

$$R_{g4,5} = 0.54 \pm 0.01$$

$$R_{n4,5} = 0.20 \pm 0.01$$

این دو نسبت در ادامه برای محاسبه‌ی دز گاما به ما کمک خواهد کرد. مرحله‌ی بعد، تفکیک و محاسبه‌ی نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم برای نمونه‌های پرتودهی شده در میدان تابش آمیخته بود. تفکیک منحنی درخشندگی نمونه‌هایی که در میدان‌های تابش نوترون و گاما تا دزهای مختلف پرتودهی شده بودند، با استفاده از مدل سینتیکی مرتبه‌ی عام انجام شد. این تفکیک در شکل ۳ برای منحنی درخشندگی نمونه‌ی پرتودهی شده در میدان آمیخته‌ی تابش نوترون و گاما هر کدام با سهم به ترتیب، ۱۰۳ و ۱۹۴ میلی‌گری انجام شده است.



شکل ۱. تفکیک منحنی درخشندگی دزیمتر ترمولومینسانس TLD-600 به دست آمده از پرتودهی آن با ^{137}Cs تا دز 300mSv .

خواندن نمونه‌ها و ثبت منحنی‌های درخشندگی توسط دستگاه TLD خوان مدل هارشام-4500 انجام پذیرفت. برای ثبت منحنی‌های درخشندگی، نمونه‌ها با آهنک گرمایش ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد بر ثانیه تا دمای بیشینه‌ی ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد گرم شدند.

۴. تفکیک منحنی درخشندگی

تفکیک منحنی درخشندگی با بهره‌گیری از برنامه‌ی کامپیوتری که برای به دست آوردن حداقل مربعات از الگوریتم لوبرگ-مارگارت استفاده می‌کند، به انجام رسید. برازش نقاط تجربی با استفاده از مدل مرتبه‌ی عام ترمولومینسانس (رابطه‌ی (۸)) انجام شد [۱۵].

$$I(T) = I_m b^{b-1} \exp\left(\frac{E}{kT} - \frac{T - T_m}{T_m}\right) \times \left[\left(\frac{T}{T_m}\right)^2 (b-1) \left(1 - \frac{2kT}{E}\right) \exp\left(\frac{E}{kT} - \frac{T - T_m}{T_m}\right) + 1 + (b-1) \left(\frac{2kT_m}{E}\right)^{b-1}\right]^{-b} \quad (8)$$

که در آن I_m شدت بیشینه، T_m دمای بیشینه، E انرژی فعال‌سازی، T دما، k ثابت بولتزمن و b مرتبه‌ی سینتیکی است.

وجود b به عنوان مرتبه‌ی سینتیکی در این رابطه علاوه بر این که محدودیت‌های قبلی حاکم بر این رابطه نظیر بازگیراندازی غالب (مدل مرتبه‌ی دوم) و یا باز ترکیب غالب (مدل مرتبه‌ی اول) را از میان برده است، عملاً با اضافه کردن یک پارامتر، در فرایند برازش باعث افزایش کیفیت برازش منحنی شده است.

برای تعیین کیفیت برازش نقاط تجربی، از معیار وجه شایستگی $(FOM)^{(2)}$ که به صورت زیر داده می‌شود استفاده شده است

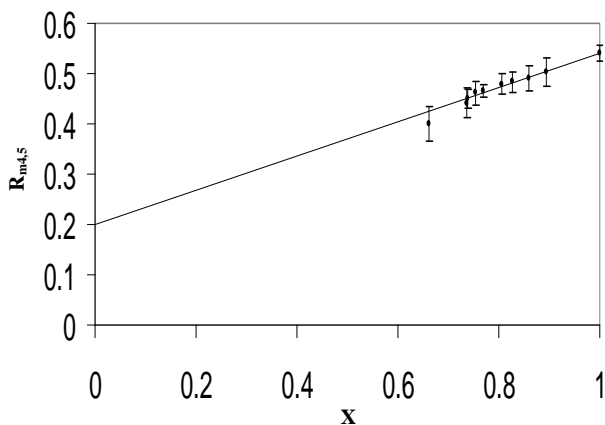
$$FOM\% = \frac{100 \sum |y_i - F_i|}{A}$$

که در آن، y_i نماینده‌ی مقدار تجربی شدت ترمولومینسانس، F_i نماینده‌ی مقدار به دست آمده از برازش و A سطح زیر منحنی نظری است.

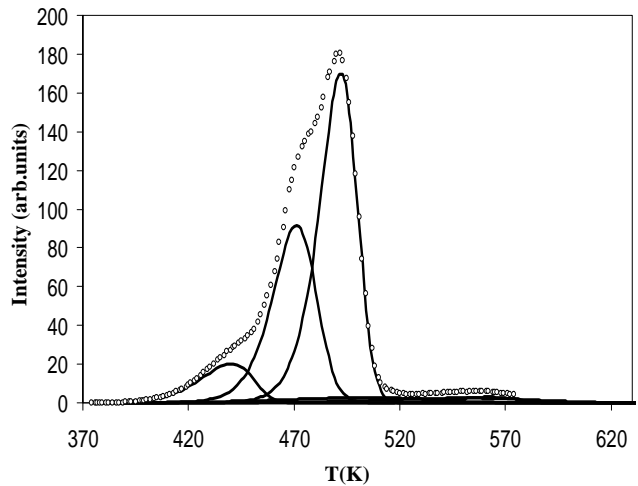


رابطه‌ی (۳) برای میدان خالص گاما مقدار $X=1$ و برای میدان خالص نوترون مقدار $X=0$ را به دست می‌دهد. به عبارت دیگر می‌توان گفت به ازای $X=1$ خواهیم داشت $R_{mf,5}=0.54$ و به ازای $X=0$ داریم $R_{mf,5}=0.20$. این دو نقطه، معرف یک خط راست می‌باشند که در شکل ۴ نمایش داده شده است که از این نظر با رابطه‌ی (۳) هم‌خوانی دارند. مقدار X برای درصدهای مختلف گاما در میدان آمیخته بین صفر و یک تغییر می‌کند. نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم، متناسب با آن از طریق رابطه‌ی (۳) یا به کمک شکل ۴ به دست می‌آید. در واقع خط رسم شده در شکل ۴ نشان‌دهنده‌ی مقادیر مورد انتظار ما از رابطه‌ی (۳) می‌باشد، در حالی که نقاط نمایش داده شده در این شکل مقادیر به دست آمده از آزمایش را نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که تطابق خوبی بین نتایج نظری و تجربی وجود دارد و می‌توان گفت با داشتن نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم در میدان آمیخته‌ی گاما- نوترون می‌توان با دقت خوبی سهم گاما و نوترون را محاسبه کرد.

با مشخص بودن نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم منحنی درخشندگی دزیمتر ترمولومینسانس TLD-600 در میدان خالص نوترون و گاما و با استفاده از رابطه‌ی (۷) می‌توان نمودار تغییرات $R_{mf,5}$ برحسب u را رسم نمود. در شکل ۵ نقاط به دست آمده از آزمایش و منحنی نظری به صورت هم‌زمان رسم شده‌اند که حاکی از تطابق و هم‌خوانی خوب آن‌ها است. بنابراین با داشتن $R_{mf,5}$ و تعیین u از شکل ۵ و به کمک رابطه‌ی (۶) می‌توان میزان دز گاما را مشخص نمود. جدول ۲، $R_{mf,5}$ محاسبه شده به کمک رابطه‌ی (۷) و مقدار تجربی آن برای u های مختلف را نشان می‌دهد.



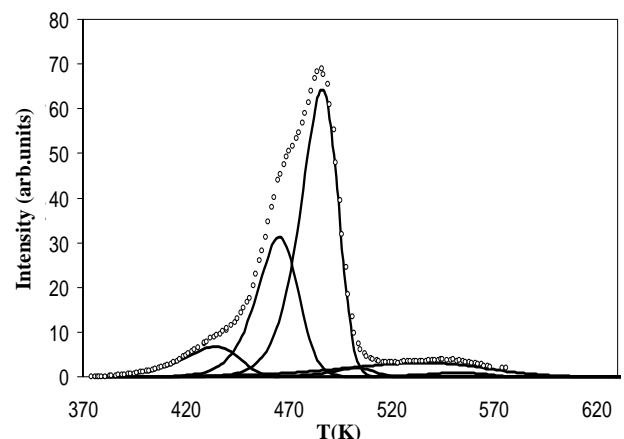
شکل ۴. منحنی تغییرات $R_{mf,5}$ برحسب X در میدان‌های آمیخته‌ی مختلف.



شکل ۲. تفکیک منحنی درخشندگی دزیمتر TLD-600 به دست آمده از پرتوهای آن با نوترون و پرتوهای گاما تا دزهای به ترتیب، ۲۶۴ و ۶۶ mSv.

جدول ۱. پارامترهای سینتیکی محاسبه شده برای پرتوهای تابش ^{137}Cs تا دز ۳۰۰ mSv و در میدان تابش نوترون چشمه‌ی Am-Be تا دز ۳۳۰ mSv

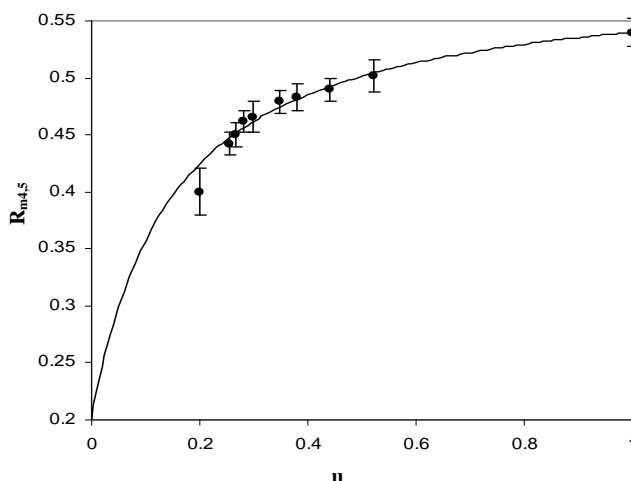
قله منحنی تابش	پارامترهای سینتیکی در میدان تابش Am-Be				پارامترهای سینتیکی در میدان ^{137}Cs				
	دمای بیشینه	شدت بیشینه	E	b	دمای بیشینه	شدت بیشینه	E	b	
۳	۴۳۷	۳،۶۵	۱،۰۹	۱،۰۱	۴۴۰	۲۰	۱،۳۲	۱،۰۱	
۴	۴۶۴	۱۱،۶۷	۲،۲۸	۱،۲۸	۴۷۱	۹۴،۶۴	۲،۱۵	۱،۳۰	
۵	۴۸۴	۲۹،۷۶	۲،۳۴	۱،۱۵	۴۹۲	۱۷۰،۱۲	۲،۶۱	۱،۲۰	
۶a	۵۱۸	۱،۹۸	۰،۵۱	۱،۰۰	۵۰۳	۲،۷۳	۰،۶۰	۱،۰۱	
۶b	۵۳۲	۰،۹۸	۰،۴۷	۱،۰۱	۵۵۰	۲،۵۰	۰،۶۸	۱،۰۰	
۷	۵۵۳	۰،۷۸	۲،۵۸	۱،۰۳	۵۶۲	۳،۰۰	۱،۷۸	۱،۰۰	
				FOM=۱،۳۶٪		FOM=۱،۰۷٪			



شکل ۳. تفکیک منحنی درخشندگی دزیمتر TLD-600 به دست آمده از پرتوهای آن در میدان آمیخته‌ی نوترون- گاما با سهم‌های به ترتیب، برابر با ۱۰۳ و ۱۹۴ میلی‌گری.



این رو، پارامترهای سینتیکی محاسبه شده، از جمله شدت پیشینه‌ی قله‌ی نمودار، واقعی تر می‌باشد. هم‌چنین استفاده از این مدل پارامترهای آزاد برای برازش را از ۳ به ۴ افزایش می‌دهد که این خود سبب افزایش دقت برازش می‌گردد. علاوه بر این، در مرجع ۱۲ میدان تابش Am-Be به عنوان میدان تقریباً خالص نوترون گزارش شده است که با اندازه‌گیری‌های دقیق در این پژوهش سهم گامای این میدان تعیین و در محاسبات منظور شده است. بنابراین، این تحقیق تعیین سهم گاما در میدان‌های آمیخته‌ی نوترون-گاما را با استفاده از روش دو قله‌ای با دقت بالاتر از کارهای قبلی امکان‌پذیر می‌سازد.



شکل ۵. منحنی تغییرات $R_{m4,5}$ برحسب u در میدان‌های آمیخته‌ی مختلف با $w=7/8$.

پی‌نوشت‌ها:

۱. Levenberg- Marquart

۲. Figure of Merit

جدول ۲. مقایسه‌ی مقادیر نظری و تجربی نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم در میدان‌های آمیخته‌ی مختلف و وجه شایستگی به دست آمده از تفکیک منحنی تابش در دزهای مختلف

دز (میلی‌گری)		نسبت I_4 / I_5		FOM%	
گاما	نوترون	اندازه‌گیری شده	نظری	اختلاف (%)	
۶۶	۲۶۴	۰,۴۰۰	۰,۴۰۲	۰,۲	۱,۳۱
۶۸	۱۹۰	۰,۴۴۲	۰,۴۴۵	۰,۷	۱,۳۲
۹۶	۲۶۴	۰,۴۵۰	۰,۴۵۲	۰,۴	۰,۹۷
۷۶	۱۹۴	۰,۴۶۲	۰,۴۶۳	۰,۲	۱,۱۰
۸۳	۱۹۴	۰,۴۶۶	۰,۴۷۰	۰,۸	۱,۵۰
۱۰۳	۱۹۴	۰,۴۷۹	۰,۴۸۱	۰,۴	۰,۸۸
۱۱۹	۱۹۴	۰,۴۸۳	۰,۴۸۵	۰,۴	۱,۳۴
۱۲۶	۱۶۰	۰,۴۹۰	۰,۴۹۱	۰,۲	۰,۹۵
۱۷۴	۱۶۰	۰,۵۰۲	۰,۵۰۵	۰,۶	۱,۰۵

۶. نتیجه‌گیری

نتایج این مقاله از دو نظر با نتایج حاصل از کارهای مشابه تفاوت دارد. همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود براساس نتایج به دست آمده، مقدار دز گاما در میدان آمیخته تا ۵۲٪ دز کل افزایش یافته است. از سوی دیگر برای برازش منحنی درخشندگی و تعیین نسبت شدت قله‌ی چهارم به قله‌ی پنجم برای تعیین دز گاما از مدل مرتبه‌ی عام ترمولومینسانس استفاده شده است. این مدل نسبت به مدل‌های مرتبه اول و دوم شرایط محدودکننده‌ی کم‌تری دارد به گونه‌ای که در این مدل بازگیراندازی و بازترکیب به صورت هم‌زمان در محاسبات منظور شده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که این مدل «فیزیکی‌تر» است و از



References:

1. V. Chernov, B. Rogalev, A. Nepomnyaschikh, V. Cherepanov, "Error analysis of neutron dose measurement in mixed gamma-neutron fields by a two peak TL method," *Radiat. Prot. Dosim.* 49, 443-449 (1993).
2. E.X. Rank and R.B. Theus, "Neutron dosimetry with $\text{CaF}_2:\text{Tm}$," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-26(1), 1590-1592 (1979).
3. J.B. Dielhof, A.J.J. Bos, J. Zoetelief, J.J. Broerse, "Sensitivity of CaF_2 thermoluminescent materials to fast neutrons," *Radiat. Prot. Dosim.* 23, 405-408 (1998).
4. W. Hoffman, and B. Prediger, "Heavy particle dosimetry with high temperature peaks of $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ and ^7LiF phosphors," *Radiat. Prot. Dosim.* 6, 149-152 (1983).
5. P. Meissner, U. Beink, J. Rassow, "Applicability Of TLD-700 detectors for dosimetry in $d(14)+\text{Be}$ neutrons fields," *Radiat. Prot. Dosim.* 23, 421-424 (1988).
6. B.B. Schachar and Y.S. Horowitz, "Dosimetric characterisation of the high temperature peaks of $\text{LiF}:\text{Mg}$, Ti and $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ using computerised glow curve deconvolution," *Radiat. Prot. Dosim.* 22, 87-96 (1988).
7. A.S. Pradhan, J. Rassow, P. Meissner, "Fast neutron response of $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ teflon TLD discs of different thickness," *Radiat. Prot. Dosim.* 15, 233-266 (1986).
8. Y.S. Horowitz, and B. Ben Schachar, "Sensitised TLD-700 for neutron-gamma dosimetry at radiation dose levels," *Radiat. prot. Dosim.* 33, 263-266 (1990).
9. Y.S. Horowitz and D. Yossian, "Computerised glow curve deconvolution: application to thermoluminescence dosimetry," In: *Proc Int. Congr. on Radiation Protection, Vienna. Vol. 4*, 293-295 (1996).
10. T.M. Piters, A.J.J. Bos, J. Zoetelief, "Thermoluminescence dosimetry in mixed neutron-gamma radiation fields using glow curve superposition," *Radiat. Prot. Dosim.* 44, 305-308 (1992).
11. N. Horiuchi, T. Sato, H. Morimoto, "Simultaneous evaluation of the neutron and gamma dose with a single ^6LiF TLD," *Nucl. Instrum. Methods A* 317, 545-552 (1992).
12. D. Youssian and Y.S. Horowitz, "Estimation of gamma dose in neutron dosimetry using peak 4 to peak 5 ratios in $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ (TLD-100/600)," *Radiat. Prot. Dosim.* 77, 151-158 (1998).
13. A. Delgado, J.L. Muniz, J.M. Gomez Ros, A.M. Romero, R. Rodriguez, "On the use of LiF TLD-600 in neutron-gamma mixed fields," *Radiat. Prot. Dosim.* 125, 1-4, 327-330 (2007).
14. A. Triolo, M. Marrale, M. Brai, "Neutron-gamma mixed field measurements by means of MCP-TLD-600 dosimeter pair," *Nucl. Instrum. methods B* 264, Issue 1, 183-188 (2007).
15. G. Kitis, J.M. Gomez Ros, J.W.N. Tuyn, "Thermoluminescence glow-curve deconvolution functions for first, second and general order of kinetics," *J. Phys. D:Appl. Phys.* 31, 2636-2641 (1998).