J. of Nuclear Sci. and Tech.
No. 42, pp. 1-6, 2008
Archive of SID
مجله علوم و فنون هسته‌ای
شماره ۴۲، صفحات ٦-۱، ۱۳۸٦

کاربرد دزیمتر ترمولومینسانس TLD-600 در اندازه‌گیری فلوی نوترون حرارتی

فرهاد منوچهری*، فلامرز ترکزاده، نفیسه میرزاجانی، شیرین جلیلیان
پژوهشکده علوم هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران- ایران

چکیده: دزیمترهای ترمولومینسانس به سبب کاربرد وسیعشان در دزیمتریها، از جمله دزیمتری نوترون، شناخته شده‌اند. در فلوی نوترونی کم، می‌توان بعد از حذف مقدار دز ناشی از پرتوی گاما، مستقیماً از پدیده ترمولومینسانس برای اندازه‌گیری فلوی نوترون حرارتی و نیمه حرارتی استفاده کرد. در مقادیر زیادتر، به سبب لزوم استفاده از صافی‌های کاهنده شدت نور، همچنین پدیده غیرخطی شدن بر اثر جذب دزهای زیاد نوترون و گاما، روش مستقیم قابل استفاده نیست. در این کار تحقیقی، بصورت غیرمستقیم بعد از صفر کردن دزیمترها و پاک کردن اطلاعات اولیه دزهای نوترون و گاما، با استفاده از آکتیویته هسته‌های تریتیوم ایجاد شده در دزیمتر ^{6}LiF(TLD-600)، فلوی نوترون حرارتی در قلب رآکتور تحقیقاتی تهران در محدودهٔ $۱۰^{۱۱}$-$۱۰^{۱۳}$n/cm^{۲} اندازه‌گیری شد. اثر تخریبی پرتو بر پاسخ دزیمترها با اعمال عملیات حرارتی ویژه تا حد تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها کاهش داده شد. شدت ترمولومینسانس حاصل از آکتیویته درونی دزیمتر ناشی از اتمهای ایجاد شده تریتیوم، بعد از طی مدتهای ۲۴ و ۴۸ و ۷۲ ساعت نگهداری، به وسیله قرائتگر اندازه‌گیری شد. در این کار پژوهشی، بررسی تئوری کوتاهی نیز عرضه شده است.

واژه‌های کلیدی: دزیمترهای گرماتابی، نوترون‌های حرارتی، فلوی نوترون، دزهای تابش، تابش گاما

Thermal Neutron Fluence Measurements Using Thermoluminescence Dosimeter TLD-600

F. Manouchehri*, F. Torkzadeh, N. Mirzajani, Sh. Jalilian
Nuclear Science Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 11365-3486, Tehran-Iran

Abstract: Thermoluminescence dosimeters are well known for their widespread applications in dosimetry specially neutron dosimetry. In low neutron fluences it is usual to use (n,α) reaction for direct measurement of neutron fluence, but in higher values, some gray filters are necessary. And also supralinearity because of the high absorbed dose makes the direct reading of TLDs difficult. After anealing of dosimeters the absorbed dose from the internal activity was used as a mass for neutron fluence. In this work thermal neutron fluence in the range between 10^{11} and 10^{13} n/cm^2 in the reactor core of Tehran Research Reactor was measured using TLD-600 thermoluminescence dosimeters. The influence of irradiation-induced damage effect on the response of TLDs and their subsequent readings have been minimized. The measurements were made reproducible in this manner. The induced TL-light reader due to self-activity in TLD-600 dependens on the neutron fluence caused a conveniently measurable TL glow curve. The accumulated TL-light was measured after storage periods of 24, 48 and 72 hours. A short theoretical treatment is also presented at this work.

Keywords: ***Term Luminescent Dosimeters, Thermal Neutrons, Neutron Fluence, Radiation Dose, Gamma Radiation***

*email: fmanouchehri@aeoi.org.ir
تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۷/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۶/۴/۱۸

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

از روشهای متداول در اندازه‌گیری شار نوترونی می‌توان به استفاده از ورقه‌های طلا به روش فعالسازی نوترونی اشاره کرد؛ همچنین می‌توان از برهمکنش هسته‌ای نوترون با عناصری مانند Si-31 و P-32 استفاده کرد که آکتیویته آنها با نوترونهای برخوردی متناسب است [۱]. امروزه به طور گسترده‌ای از دزیمترهای TLD-600(LiF)(Li-6 ۹۵/۲۲٪ و Li-7 ۴/۳۸٪) و TLD-700 در دزیمتری نوترون استفاده می‌شود، همچنین می‌توان این دو دزیمتر را با پوشش و بدون پوشش کادمیومی در اندازه‌گیری شار نوترون حرارتی در محدوده $۱۰^{۴}$-$۱۰^{۸}$ $n/Cm^{۲}$ به کار برد [۲ تا ۵]. در روش غیرمستقیم ارائه شده در این مقاله، اطلاعات مستقیم دزهای نوترون و گاما با صفر کردن دزیمتر از روی آن پاک می‌شوند. اطلاعات فلوی نوترون با نگهداری دزیمتر در یک بازه زمانی مناسب، با توجه به اتمهای ایجاد شده تریتیوم در دزیمتر بدست می‌آیند. در شارهای حدود $۱۰^{۴}$-$۱۰^{۸}$$n/Cm^{۲}$ به علت کافی نبودن تعداد اتمهای تریتیوم، می‌توان از روش مستقیم قرائت، بدون صفرکردن اولیه دزیمتر، استفاده کرد. هدف اصلی این مطالعه، استفاده از TLD-600 بطور غیرمستقیم با استفاده از دو دزیمتر یکی با پوشش و دیگری بدون پوشش کادمیومی، برای اندازه‌گیری فلوی نوترون حرارتی رآکتور تحقیقاتی تهران است.

۲- تئوری

اتمهای Li-6 موجود در TLD-600 هنگام برهمکنش با نوترونهای حرارتی به صورت واکنش $^{6}Li(n,\alpha)^{3}H$ با سطح مقطع ۹۶۰ بارن، منجر به تولید آکتیویته درونی ناشی از تریتیوم (^{3}H) با نیمه‌عمر تقریباً ۱۲ سال می‌شود. همراه با این واکنش، واکنشهای هسته‌ای دیگری نیز در LiF رخ می‌دهند که منجر به تولید رادیوایزوتوپها با نیمه‌عمرهای کوتاه می‌شوند و به جز واکنش $^{3}H \rightarrow ^{3}He+e+\upsilon$ تمام رادیوایزوتوپها در مدت چند ثانیه واپاشی می‌نمایند. در جدول ۱ رادیوایزوتوپهای حاصل و واکنشهای نوترون با LiF نشان داده شده‌اند.

بعد از تابش‌دهی و گرمادهی دزیمترها، انرژی جذب شده

جدول ۱- واکنشهای هسته‌ای و آکتیویته ^{6}LiF با نوترونهای حرارتی.

واکنش هسته‌ای	انرژی (MeV)	سطح مقطع (b)	نیمه‌عمر
$^{6}Li\ (n,\alpha)\ ^{3}H$	$E(^{3}H)$= ۲/۷۲ $E(\alpha)$= ۲/۰۶	۹۶۰	
$^{3}H \Rightarrow ^{3}He+e+\nu$	E_{β} = ۰/۰۱۸۶		۱۲/۳۲۲a
$^{7}Li\ (n,\gamma)\ ^{8}Li$	E_{γ} = ۲/۰۶	۳۶ × $۱۰^{-۳}$	
$^{8}Li \Rightarrow Be+e+\nu$			۰/۸۴۴ sec
$^{8}Be \Rightarrow 2\alpha$			۲ × $۱۰^{-۱۶}$ sec
$F \Rightarrow ^{20}Ne^{*}+e+\nu$	E_{γ} = ۶/۶	۹/۶ × $۱۰^{-۳}$	۱۱ sec
$^{20}Ne^{*} \Rightarrow ^{20}Ne+\gamma$			۸ × $۱۰^{-۱۳}$ sec
$^{6}Li\ (n,\gamma)\ ^{7}Li$	E_{γ} =۷/۲۵	۴۰ × $۱۰^{-۱۲}$	

ناشی از واپاشی تریتیوم ^{3}H باعث ایجاد ترمولومینسانس در قرص TLD می‌شود (که آکتیویته دز صفر نام دارد). اگر تعداد هسته‌های ^{3}H به مقدار کافی زیاد باشد دز درونی یا دز صفر برای تشکیل نمودار درخشندگی ممکن است در مدت کوتاهی ایجاد شود.

N_t، تعداد تریتیومهای تولید شده در قرص TLD-600 برابر است با [۶]:

$$N_t = G.\sigma_{th}.\phi.n.V \qquad (۱)$$

که در آن، N_t تعداد کل تریتیومهای تولید شده توسط نوترونهای با انرژی کمتر از فاکتور خود جذبی[۱] ۰/۴eV، G است که به هندسه دزیمتر بستگی دارد [۶ و ۷]. فاکتور G همچنین بصورت ϕ_0/Σ_d تعریف می‌شود که در آن ϕ_0 استاندارد احتمال جذب از طریق توزیع متوسط ماکسول، Σ سطح مقطع ماکروسکوپیک و d ضخامت دزیمتر می‌باشد. در معادله (۱) σ_{th} سطح مقطع نوترون حرارتی، ϕ شار نوترون حرارتی و n تعداد اتمهای ^{6}Li در واحد حجم است.

برای بدست آوردن N_{th} (معادله ۲)، از تعداد کل N_t، تعداد تریتیوم تولید شده با انرژی بالاتر از (E>0.4eV) در TLD-600 با پوشش کادمیومی، یعنی N_{cd} کم می‌شود.

$$N_{th} = N_t - F_{cd}.N_{cd} \qquad (۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

پاسخ قرص با پوشش کادمیوم، به نوترونها در ناحیهٔ رزونانس بستگی زیاد دارد، زیرا کادمیوم تقریباً تمام نوترونهای با انرژی کمتر از ۰/۴eV را متوقف می‌سازد و نوترونهای با انرژی بیشتر از این عبور می‌کنند.

در معادله (۲)، F_{cd} به عنوان فاکتور تصحیح این اثر در نظر گرفته شده است که به ضخامت کادمیوم بستگی دارد. بعد از گذشت زمان t بین تابش‌دهی و اندازه‌گیری، N_{th} به اندازه N_d کاهش می‌یابد (معادله ۳).

$$N_d = N_{th}.e^{-\lambda t} \qquad (۳)$$

در این معادله N_d تعداد تریتیوم‌های واپاشی شده بدون پوشش کادمیومی بعد از گذشت مدت t است و تعداد هسته‌های تریتیوم واپاشی شده برابر $(N_{th}-N_d)$ می‌باشد.

$I_{TL(th)}$، شدت فوتونهای ترمولومینسانس حاصل از آکتیویته ناشی از برهمکنش نوترونهای حرارتی با دزیمتر بصورت معادله (۴) بیان می‌شود.

$$I_{TL(th)} = I_{Bare} - I_{cd}.F_{cd} = k.N_d \qquad (۴)$$

در این معادله I_{Bare} و I_{cd} شدت فوتونهای ترمولومینسانس بترتیب برای قرصهای بدون پوشش و با پوشش کادمیومی و F_{cd} فاکتور تصحیح شدت فوتونهای ترمولومینسانس قرص TLD-600 با پوشش کادمیومی است. طبق معادله (۴)، اختلاف بین مقادیر شدت فوتونهای ترمولومینسامنس برای قرصهای دارای پوشش و بدون پوشش کادمیومی، برای محاسبهٔ شار نوترونهای حرارتی در نظر گرفته می‌شود، همچنین $I_{TL(th)}$ با مقدار kN_d متناسب است. فاکتور k در این معادله معیاری است برای تبدیل انرژی جذب شده حاصل از واپاشی هسته‌های تریتیوم به شدت فوتونهای ترمولومینسانس $I_{TL(th)}$ و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$k = \eta \times E_{(\beta^* + {}^3He^*)} \times 1.6 * 10^{-8} \ /(\rho \times V) \qquad (۵)$$

در این معادله η بازده ترمولومینسانس نسبت به پرتوهای بتا با انرژی ۱۸/۶eV و پس‌زنی اتمهای ^3He در LiF، که به انتقال خطی انرژی LET نیز بستگی دارد. $E_{(\beta^* + He^*)}$ انرژی جذب شده به ازاء هر واپاشی، ρ چگالی قرص برحسب g/Cm^3 و V حجم دزیمتر است.

قرص TLD-600 با پوشش کادمیومی را می‌توان برای اندازه‌گیری شار نوترون فراحرارتی نیز به کار برد. شدت فوتونهای ترمولومینسانس مربوط به قسمت نوترونهای فوق‌حرارتی، بصورت معادله ۶ بیان می‌شود.

$$I_{TL(Ep)} = k.I_{cd}.F_{cd} = k.N_{(d,cd)} \qquad (۶)$$

در آن $N_{(d,cd)}$ تعداد تریتونهای واپاشی شده با پوشش کادمیوم در TLD-600 است.

$I_{TL(Ep)}$ شدت فوتونهای ترمولومینسانس ناشی از واپاشی تریتیوم مطابق با شار نوترونهای فوق‌حرارتی است. اما تست پاسخ گامای قرصها یک نوع کاهش در پاسخ دزیمتر TLD نشان می‌دهد که به عنوان پدیده تخریب تابشی شناخته شده است و به نوع تابش و دز جذبی بستگی دارد [۷].

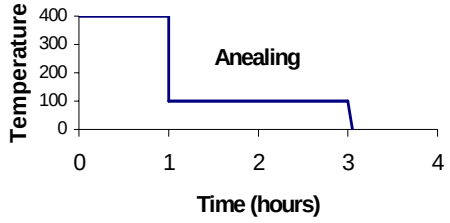
ای. پیش و همکارانش برای بازسازی مراکز تخریبی دزیمتر یک نوع روش عملیات حرارتی پیشنهاد کرده‌اند [۷]. در این روش، عملیات طولانی حرارتی برای بازسازی مراکز تخریبی مورد تأکید قرار گرفته است، اما برای استفاده عملی، در این تحقیق، دستورالعملی مناسب با عملیات حرارتی بکار برده شده است. در نتیجهٔ این عملیات حرارتی، پاسخ دزیمتر را می‌توان تا ۵۰ درصد پاسخ اصلی آن دوباره ذخیره کرد تا خطای پاسخ از طریق قرائت پی‌درپی به کمتر از ۲ درصد کاهش یابد. با این روش بین فوتونهای ترمولومینسانس حاصل از دزیمترهای پیش تابش‌دهی شده با نوترون و شار نوترون، بستگی خطی ایجاد شد.

۳- روش کار

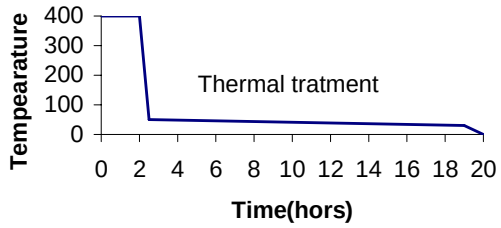
در این کار پژوهشی، ۱۲ عدد قرص TLD-600 به ابعاد ($۳/۱۷\times۳/۱۷\times۰/۸۹mm^3$) از شرکت هارشاو (Harshaw) با حساسیتهای نزدیک به هم انتخاب شدند.

www.SID.ir

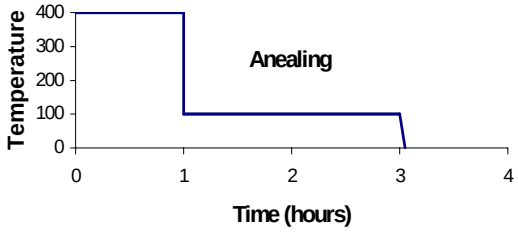
Archive of SID



(a)



(b)



(c)

شکل ۱- مراحل روش حرارتی قبل و بعد از پرتودهی با نوترون در رآکتور و بدنبال آن نگهداری آنها برای تشکیل پدیده ترمولومینسانس القایی ناشی از آکتیویته در TLD-600.

در این پژوهش ۲ قرص TLD-600 با پوشش کادمیومی به ضخامت ۱ میلی‌متر را به همراه ۲ قرص دیگر بدون پوشش کادمیومی، درون یک محفظه پلکسی‌گلاس قرار داده و این محفظه را درون محفظه‌ای آلومینیومی به ارتفاع ۳ سانتی‌متر و قطر ۲ سانتی‌متر قرار داده‌ایم؛ بعد از این مرحله، ظرف آلومینیومی برای پرتودهی، درون قلب رآکتور تحقیقاتی تهران قرار داده شد. از یک چشمه Cs-137 به منظور کنترل حساسیت دزیمترها قبل و بعد از پرتودهی در رآکتور استفاده شد. بمنظور تعیین حساسیت دزیمترها بعد از پرتودهی با نوترون، تعدادی از این دزیمترها با پرتوی گاما و با دز ۱mSv پرتودهی شدند. بمنظور حذف دز صفر در قرصها اختلاف دزهای این دوگروه در نظر گرفته شد.

برای تست حساسیت دزیمترها به پرتوی گاما از یک چشمه Co-60 استفاده شد؛ دزیمترها را پشت یک صفحه پلی‌استر به ضخامت یک میلی‌متر قرار داده سپس با دز ۱mSv پرتودهی کرده‌ایم.

از رآکتور تحقیقاتی تهران بعنوان چشمه نوترونی برای بمباران TLD-600 با شارنوترونی $n/cm^2.s$ $(10^{11}-10^{13})$ ۲/۲۵ در توانهای متفاوت که در جدول ۲ به آن اشاره شده است استفاده شد. دزیمترها را پیش از پرتودهی با نوترون، ابتدا در کوره آزمایشگاهی «مدل ترمولاین ۳۰۴۰۰» تحت عملیات حرارتی استاندارد، یعنی ۱ ساعت در ۴۰۰ درجه و ۲ ساعت در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده‌ایم. بعد از بمباران قرص نیز به منظور بازسازی مراکز تخریب، عملیات حرارتی ویژه به مدت یک ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد اعمال، سپس به مدت ۲۰ ساعت تا دمای اتاق سرد کرده‌ایم. شکل ۱ (a، b)، همچنین تحت عملیات حرارتی استاندارد ویژه به مدت ۱ ساعت در ۴۰۰ درجه و ۲ ساعت در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده‌ایم شکل (۱-c). کل عملیات حرارتی در شکل ۱ (a, b, c) نشان داده شده‌اند. بعد از گرمادهی، قرصها بمدت ۲۴ و ۴۸ و ۷۲ ساعت نگهداری شدند، سپس به وسیلهٔ دستگاه قرائتگر هارشاو مدل ۴۰۰۰ خوانده شدند.

برای اندازه‌گیری شدت درخشندگی، مساحت زیر نمودار بین دماهای ۱۰۰ درجه و۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به کار برده شد و به منظور حذف قله‌های کم دما، هر قرص تحت عملیات پیش گرمادهی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ثانیه قرار داده شد.

جدول ۲- میانگین شدت درخشندگی ترمولومینسانس قبل و بعد از اعمال روش حرارتی ویژه برای قرصهای بدون پوشش کادمیومی، همچنین برای قرصهای دارای پوشش کادمیومی که با شارهای مختلف نوترون بمباران شده‌اند.

شدت فوتونهای ترمولومینسانس با پوشش کادمیومی (nC)	شدت فوتونهای ترمولومینسانس قرص بدون پوشش بعد از عملیات حرارتی (nC)	شدت فوتونهای ترمولومینسانس قرص بدون پوشش قبل از عملیات حرارتی (nC)	شار نوترونی ($n/cm^2.S$)	قدرت رآکتور (kW)
۱۰/۵	۱۰۰/۱	۶۰	$۲/۲۵\times۱۰^{۱۳}$	۱۰
۶/۸۶	۶۵/۶	۴۸	$۱/۵۸\times۱۰^{۱۳}$	۵
۳/۱	۲۷/۵	۲۱	$۶/۷۵\times۱۰^{۱۲}$	۵
۱/۶۲	۱۰/۳	۱۰/۰۶	$۲/۲۵\times۱۰^{۱۲}$	۱
-	۱/۲	۱/۱۸	$۲/۲۵\times۱۰^{۱۱}$	۰/۱

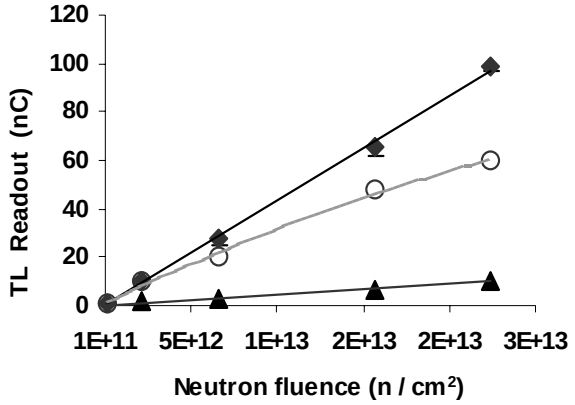
www.SID.ir

Archive of SID

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از قرصهای TLD-600، فلوی نوترون حرارتی در قلب رآکتور تحقیقاتی تهران به طور موفقیت‌آمیزی اندازه‌گیری شد. قرصهای TLD-600 تحت بمباران نوترونی با فلوی نوترون حرارتی n/cm^2($۱۰^{۱۱}$-$۱۰^{۱۳}$)۲/۲۵ در توانهای متفاوت قرار گرفت و فلوی نوترون حرارتی در محدوده n/cm^2($۱۰^{۱۱}$-$۱۰^{۱۳}$) اندازه‌گیری شد نتایج حاصل از این اندازه‌گیری در جدول ۲ مندرج است.

در این کار پژوهشی به منظور بازسازی پاسخ دزیمترها بر اثر دُز بالای نوترون، این دزیمترها تحت عملیات حرارتی ویژه قرار گرفتند. شدت فوتونهای ترمولومینسانس در اثر آکتیویته درونی حاصل از واکنش هسته‌ای $^6Li(n,\alpha)^3H$ بعد از دوره نگهداری ۲۴ الی ۷۲ ساعت اندازه‌گیری شد بطوری که می‌توان شار نوترون حرارتی را از اختلاف بین شدتهای ترمولومینسانس حاصل از قرصهای TLD با پوشش و بدون پوشش کادمیومی اندازه‌گیری کرد. در جدول ۲ شدت فوتونهای ترمولومینسانس حاصل از قرصهای TLD با پوشش و بدون پوشش کادمیومی قبل و بعد از عملیات حرارتی در توانهای متفاوت نشان داده شده است. در این کار، تغییری در حساسیت قرصها با پوشش کادمیومی نشان داده نشد. علت این امر را می‌توان چنین توضیح داد که بیشتر نوترونهای حرارتی در پوشش کادمیومی جذب می‌گردند بنابراین شار نوترون حرارتی با فاکتور ۱۰ کاهش می‌یابد. فوتونهای ترمولومینسانس بعد از ۲۴ و ۴۸ و ۷۲ ساعت نگهداری، اندازه‌گیری و مقدار آن به ۲۴ ساعت نرمالیزه شدند. بطوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، یک بستگی خطی بین فوتونهای ترمولومینسانس و شار نوترونی وجود دارد. "E.Piesch" و همکارانش مدت عملیات حرارتی طولانی، در حدود ۱۰۰ ساعت را برای بازسازی TLD از ۰/۳ تا ۰/۷ (از پاسخ اصلی ۱ با واحد دلخواه) پیشنهاد کردند [۷]. در این کار، قرصها نیز بعد از عملیات حرارتی استاندارد، ۱ ساعت در ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تحت عملیات حرارتی ویژه، ۲ ساعت در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۱ ساعت در ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و ۲۰ ساعت تا دمای اتاق خنک شدند. این روش عملیات حرارتی، دزیمتر پیش پرتودهی شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد، همچنین حساسیت دزیمترها به بالای ۵۰ درصد



شکل ۲- ترمولومینسانس القا شده در TLD-600، دایره توخالی: قبل از اعمال روش حرارتی، لوزی: بعد از اعمال روش حرارتی، مثلث: قرصهای TLD دارای پوشش کادمیوم.

حساسیت اصلی می‌رسد. پاسخ دزیمترهای TLD-600 در دُزهای بالا، حدود ۱۰۰mGy، منجر به پاسخی فوق خطی می‌شود که با قرائت ۱۵۰۰ نانوکولن مطابقت دارد. این دُز ممکن است در نتیجه وجود تعداد بسیار زیاد اتمهای تریتیوم در قرص TLD در مدت نگهداری طولانی ایجاد گردد. بر طبق این پژوهش، پاسخ فوق خطی تنها ممکن است بعد از مرحله نگهداری بیشتر از ۱۵ روز صورت گیرد، چون در این روش دزیمترها را می‌توان چندین بار قرائت کرد، تست اندازه‌گیری شدت فوتونهای ترمولومینسانس خروجی و انتخاب زمان نگهداری مناسب برای جلوگیری از پاسخ فوق خطی امکانپذیر می‌شود. با توجه به شکل ۲، مقادیر ترمولومینسانس قرصهای TLD با پوشش کادمیومی در مقایسه با قرصهای TLD بدون پوشش کادمیومی، هیچ پاسخ فوق خطی نشان ندادند. در جدول ۳ مقادیر ترمولومینسانس تصحیح شده با استفاده از معادله‌های ۴

جدول ۳- شدت درخشندگی ترمولومینسانس متناظر با شار نوترون‌های حرارتی TL(th) و نوترونهای نیمه حرارتی TL(Ep).

شدت فوتونهای ترمولومینسانس تصحیح (nC) شده		شار نوترونی ($n/cm^2.s$)
۱۲/۶	۸۷/۵	۲/۲۵×$۱۰^{۱۳}$
۸/۲	۵۳	۱/۵۸×$۱۰^{۱۳}$
۳/۷	۲۳/۸	۶/۷۵×$۱۰^{۱۲}$
۱/۹۴	۸/۳۶	۲/۲۵×$۱۰^{۱۲}$
-	۱/۲	۲/۲۵×$۱۰^{۱۱}$

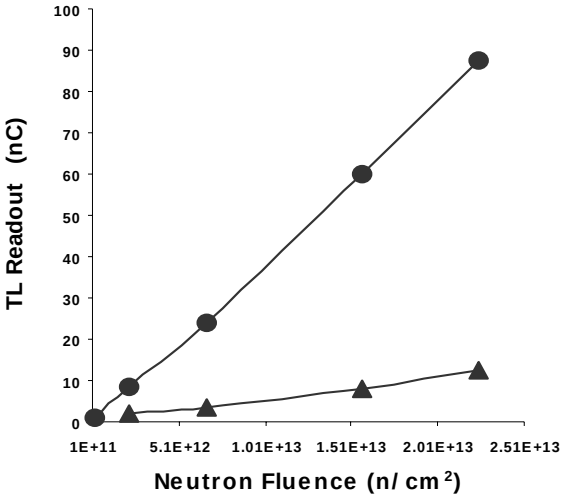
www.SID.ir

Archive of SID

و ۶ برای فلوی نوترون حرارتی و فلوی نوترون فوق حرارتی آورده شده است و در شکل ۳ نیز بستگی خطی بین اندازه‌گیری فوتونهای ترمولومینسانس القا شده در TLD-600 و فلوی نوترون فوق حرارتی نشان داده شده است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از گروه کارگردانی رآکتور تحقیقاتی تهران و همکاران آزمایشگاه دزیمتری ترمولومینسانس امور حفاظت در برابر اشعه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گرددکه بدون کمک همکاران این کار به نتیجه مطلوب نمی‌رسید.



شکل ۳– شدت درخشندگی خالص ناشی از نوترونهای حرارتی TL(th) و نیمه حرارتی، دایره توپر: شار نوترونهای حرارتی، مثلث: شار نوترونهای نیمه حرارتی.

پی‌نوشت:

۱- Self Shilding

References:

1. E. Piesch, B. Burgkhardt, D. Singh, Proc. 5 th Int. Conf. On Luminescence Dosimetry. Sao Polo p.94 (1977).

2. S.I. Tanaka and Y. Futura, "Nucl. Nuclear Instrument and Methods," 133, 485-499 (1976).

3. M.C. Kleveen, J.W. (Arizona State Univ, Tempe); M. Schwenk, "Reactor flux measurements using thermoluminescence dosimetry,

4. F. Torkzadeh, Neutronen dosimetrie mit LiF-Thermoluminescence dosimeter, Diplomarbeit, Atominstitut d. Österr. Uni (1994).

5. Y.S. Horowitz, S. Freeman, A. Dubi, "Nuclear Instrument and Methods," 313-315 (1979).

6. F. Bench and K.M. Fleck, Physik und Technik der Aktivierungssonden, Atominstitut der Österr. Uni, Wien.

7. E. Piesch, B. Burgkhardt, A. M. Sayed, "Activation and damage effects in TLD-600 after neutron irradiation," Nucl. Inst. and Meth. 157, 179-184 (1978).

www.SID.ir