



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

اندازه گیری تریتم در LiF تحت شارش نوترونهاي حرارتی با استفاده از روش ترمولومینسانس

۲ مهدی حسنی، افلامرز ترک زاده

۱- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده علوم هسته ای

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

چکیده:

دزیمتر $LiF(Mg,Ti)$ در شارش های نوترون حرارتی بین 10^{14} تا $10^{16} cm^{-2}$ در محل رابیت راکتور تحقیقاتی تهران پرتودهی شد و بعد از بازپخت با عملیات حرارتی، حساسیت آن تثبیت گردید. بعد از یک زمان نگهداری، شدت ترمولومینسانس TL در اثر جذب انرژی واپاشی تریتم ${}^3H \rightarrow {}^3He + e^- + \nu$ ناشی از واکنش ${}^6Li(n, \alpha){}^3H$ بعد از اکتیوسازی نوترونی کریستال $LiF(Mg,Ti)$ اندازه گیری شد. میزان تریتم تشکیل شده در کریستال با استفاده از رابطه شارش نوترون و اکتیویته تریتم برای یک سری شارش های نوترون حرارتی محاسبه گردید. بعد از باز تعیین حساسیت دزیمتر، همچنین بازده نسبی دزیمتر به بتای واپاشی تریتم ($E_{\beta} = 18.6 keV$) 0.51 بدست آمد.

واژه های کلیدی: تریتم، فلوننس نوترون، ترمولومینسانس، اکتیوسازی نوترونی

۱. مقدمه:

اکتیوسازی نوترونی یکی از مهمترین روشهای اندازه گیری در فیزیک هسته ای از جمله برای شناسایی نوع و میزان ذرات در نمونه و اندازه گیری شارش نوترونها است. در این روش معمولاً از فوتونهای ایکس، گاما، ذرات بتا و آلفای متساعد شده از هسته های مورد نظر برای تشخیص و اندازه گیری استفاده میشود. پدیده گرمالیانی یا ترمولومینسانس TL بعنوان جایگزین برای این ذرات، برای اندازه گیری شارش نوترون در دزهای بالای نوترون-گاما قبلاً مورد استفاده قرار گرفته گرفت [1]. برای حذف اثر کاهش حساسیت گرمالیانی ماده هنگام پرتودهی با دز بالا و بیش از Piesch [2] 1kGyE. یک روش عملیات گرمایی را پیشنهاد می کند [3]. در این تحقیق از یک عملیات گرمایی خاص [1] استفاده شده است. این عملیات گرمایی باعث تثبیت قرائت دزیمتر می شود. تولید اتمهای تریتم، در دزهای پایین نوترون حرارتی نیز درون ماده گرمالیان باعث ترمولومینسانس خودزا میشود و خطای اندازه گیری را بدنبال دارد. B. Burgkardt با اشاره به دز خودزا (Build up Dose) در دزیمتر گرمالیان یا



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

TLD معادل $4\text{mSv}/10^{10}\text{ncm}^{-2}$ برای محاسبه و حذف این خطا، ایجاد سابقه نرم افزاری دز نوترون را برای هر دزیمتر پیشنهاد میکنند [4]. پدیده گرمالیانی مشاهده شده، در نتیجه واپاشی بتای $E_{\beta}=18.6\text{keV}$ هسته‌های اکتیو تریتیم در ماده، بعد از اکتیوسازی نوترونی است. برای اندازه‌گیری ترمولومینسانس مربوط به ذرات بتای واپاشی بعد از تعیین دوباره حساسیت، دزیمترها برای یک زمان کوتاه ۳ روزه نگهداری و سپس قرائت شدند. این زمان برای شکل گیری ترمولومینسانس مربوط به واپاشی تریتیم ضروری است.

۲- روش کار

۲-۱ مواد و ابزار

برای ماده گرمالیان از $\text{LiF}(\text{Mg},\text{Ti})$ با نام تجاری TLD-100 با ابعاد $0.9 \times 3.1 \times 3.1 \text{ mm}^3$ و ترکیب $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$ با نسبت طبیعی ${}^6\text{Li}$ ۷/۵٪ و ${}^7\text{Li}$ ۹۲/۵٪ استفاده شد. برای اندازه‌گیری پرتوی بتا مربوط به چشمه ${}^{90}\text{Sr}/{}^{90}\text{Y}$ از یک شمارنده گایگرمولر استفاده شد. برای کاهش دادن انرژی‌های 546keV و 2.28MeV ذرات بتای چشمه ${}^{90}\text{Sr}/{}^{90}\text{Y}$ با اکتیویته 1.5mCi تا انرژی بتا در واپاشی تریتیم، صفحات پلکسی گلاس (به دلیل Z پایین) بکاررفت. محاسبات تضعیف انرژی پرتوها در مواد، توسط یک برنامه نرم افزاری با استفاده از رابطه ۱ (Bethe Formula) صورت گرفت.

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi Z^2 e^4 n_e}{mc^2 \beta^2} \left[\ln \frac{2mc^2 \beta^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right] \quad (1)$$

با Z عدد اتمی، e بار الکتریکی واحد، n_e چگالی الکترون، m جرم الکترون، c سرعت نور، $\beta = v/c$ و I بعنوان انرژی میانگین تهییج ماده.

۲-۲ روش اندازه‌گیری و محاسبه

بعد از قرار گرفتن دزیمتر با ابعاد $3.17 \times 3.17 \times 0.89 \text{ mm}^3$ و تعداد $n = 5.18 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ اتم ${}^6\text{Li}$ در واحد حجم با سطح مقطع واکنش نوترونی حرارتی $\sigma_{th} = 940\text{b}$ ، در معرض شارش نوترون ϕ با توجه به ضریب خود مانعی (Self shielding) $G = 0.72$ و حجم $V = 8.94 \times 10^{-3}$ تعداد واکنشها و در نتیجه اتمهای تریتیم تولید شده اولیه برابر است با

$$N_0 = \phi \sigma_{th} G n V \quad (2)$$

بعد از پایان مرحله پرتودهی نوترون در مدت کوتاهی (چند دقیقه) هر نوع اکتیویته به غیر از اکتیویته تریتیم محو می‌شود. تعداد اتمهای تشکیل شده اولیه تریتیم N_0 با نیمه عمر $T_{1/2} = 12.232\text{a}$ به تعداد $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$ کاهش می‌یابد



بست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

و تعداد اتمهای واپاشی شده $N=N_0-N_1$ میباشد. با توجه بهقابل صرف نظر بودن TL ناشی از انرژی پس زنی اتم ${}^3\text{He}$ در واپاشی ${}^3\text{H}\rightarrow{}^3\text{He}+e^-+\nu$ درون TLD، برای تعیین انرژی جذب شده حاصل از واپاشی تریتم، انرژی بیشینه بتا برابر 18.6 keV و انرژی میانگین آنها در حدود $\bar{E}=5.7\text{keV}$ در نظر گرفته شد. تعیین انرژی جذب شده درون دزیتر برای ذرات برد بالا، اصولاً با استفاده از کمیت LET در رابطه $D=(E\times L\times d)/m$ انجام می شود، ولی بعلت برد کوتاه ذرات بتا در LiF (در حدود ۴ میکرومتر) میتوان از رابطه

$$D=N\times E_{\text{avg}}/m \quad (۳)$$

با $E_{\text{avg}}=9.13\times 10^{-16}\text{ (J)}$ بعنوان انرژی متوسط ذرات بتا در TLD-100 و m جرم دزیتر ۲۲ میلی گرم، استفاده کرد.

۲-۳ رابطه شارش نوترون با خروجی گرمالیانی در ${}^6\text{LiF}$

از آنجاییکه انرژی جذب شده پرتو در ماده گرمالیان را میتوان با انتقال انرژی گرمایی کافی جهت تخلیه مراکز دام به شکل نور گرمالیانی دوباره آزاد نمود، بعد از این تخلیه، اصطلاحاً دزیتر صفر میشود. ولی اگر با اکتیو سازی ماده با شاری از نوترونهای حرارتی، هسته های اکتیو مانند تریتم درون ${}^6\text{LiF}$ ایجاد شود، با واپاشی این هسته ها انرژی بصورت الکترونهای یونیده در دامها ذخیره میشود. با اندازه گیری شدت ترمولومینسانس $I_{\text{TL}}(\text{th})$ ، برای تناسب بین این مقدار و تعداد واپاشی تریتم داریم:

$$I_{\text{TL}}(\text{th})= I_{\text{Bare}}-I_{\text{cd}}\times F_{\text{cd}}=K\times N_d \quad (۴)$$

ضریب تناسب K مبدل انرژی جذب شده از واپاشی تریتم به نور TL و برابر است با

$$\frac{\eta_{\beta,\gamma}\times E(\beta^*+{}^3\text{He}^*)}{\rho\times V} K= \quad (۵)$$

در رابطه (۵)، $E(\beta^*+{}^3\text{He}^*)$ میزان انرژی جذب شده به ازای هر واپاشی، ρ و V چگالی و حجم هر دزیتر η ، راندمان هر واکنش ${}^3\text{He}$ در LiF با انرژی بتای میانگین $E_{\text{avg}}=۵.۷\text{keV}$ میباشد. در این رابطه، با صرف نظر از انرژی واپس زنی ${}^3\text{He}$ دز جذب شده از بتای واپاشی اتمهای ${}^3\text{H}$ از رابطه (۳) بدست می آید. پاسخ نسبی دزیتر برای بتای واپاشی تریتم به ${}^{60}\text{Co}$ از رابطه زیر بست می آید.

$$\eta_{\beta,\gamma}\frac{R_{\beta}/D_{\beta}}{R_{\gamma}/D_{\gamma}} \quad (۶)$$

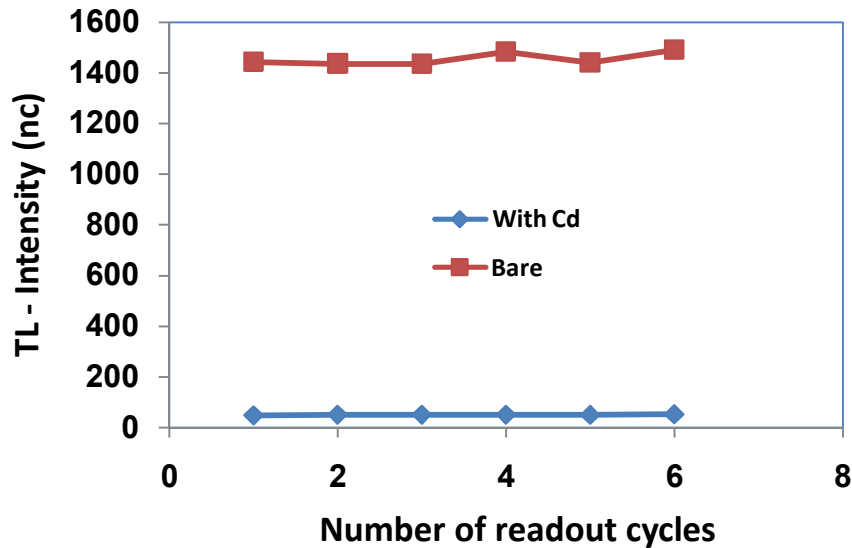
نتایج

دزیترهای TLD-100 در رابیت راکتور تحقیقاتی تهران با تغییر دو عامل زمان پرتو دهی و قدرت در راکتور، تحت شارهای نوترون حرارتی $1/۸۳\times 10^{14}$ تا $1/۸۱\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ قرار گرفتند. سپس به منظور تثبیت قرائت پاسخ، یک علیات گرمایی خاص روی دزیترها اعمال شد. نتایج قرائت دزیترها بعد از تثبیت در شکل (۱) دیده میشود.



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۱: نتایج قرائت دزیمترها با تکرار دفعات قرائت برای دزیمتر با پوشش کادمیوم (لوزی پر) و بدون پوشش کادمیوم (مربع پر)

بعد از تثبیت حساسیت دزیمترها، همه آنها در یک زمان ۳ روزه نگهداری و سپس قرائت شدند. همچنین برای مقایسه حساسیت قبل (10.88nc/mSv) و بعد از پرتودهی نوترون، دزیمترها با دز 250mSv گاما پرتودهی شدند. جدول ۱ نتایج پرتودهی گاما و قرائت مربوط به واپاشی تریتم را در کنار شارش‌های مختلف نوترون نشان می‌دهد. با تفاضل قرائت مربوط به دز خودزا حساسیت دزیمترها نسبت به قبل از پرتودهی در رآکتور تعیین می‌شود. همانطور که دیده می‌شود با افزایش فلوننس نوترون حساسیت دزیمترها کاهش می‌یابد. تعداد اتمهای تریتم در ردیف آخر با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شده است.

جدول: حساسیت دزیمترها و قرائت آنها در شارش‌های مختلف نوترون حرارتی و تعداد اتمهای تریتم تشکیل شده

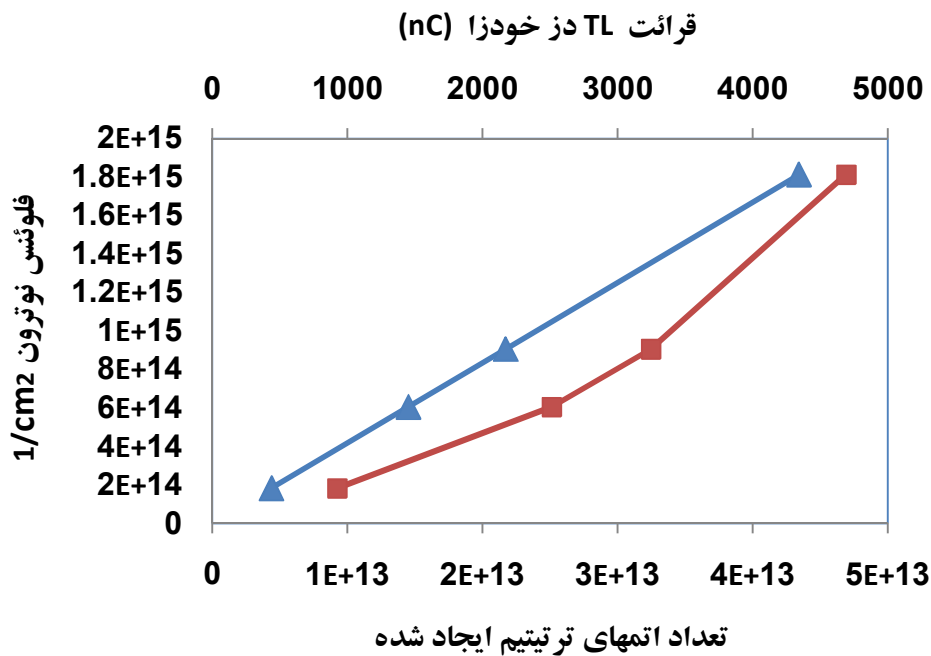
1.81×10^{15}	9.06×10^{14}	6.06×10^{14}	1.81×10^{14}	فلوننس نوترون حرارتی (cm^{-2})
۳/۳۷	۳/۴۶	۳/۷۰	۳/۷۶	جساسیت دزیمترها بعد از پرتودهی رآکتور nC/mSv
۱۴۵۵	۱۰۳۳	۸۵۷	۳۱۵	قرائت دزیمترها بعد از نگهداری ۳ روزه (nC)
۸۶۱	۸۸۴	۹۴۴	۹۶۰	خالص قرائت دز گاما بعد از تفاضل قرائت دز خودزا



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

تعداد اتمهای تریتم تشکیل شده	$4/39 \times 10^{12}$	$1/45 \times 10^{13}$	$2/17 \times 10^{13}$	$4/39 \times 10^{13}$
------------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------



شکل ۲: قرائت TL دزیمترها بعد از ۳ روز نگهداری (مربع) و میزان اتمهای تریتم تشکیل شده (مثلث) برای شارش‌های نوترون حرارتی

در شکل ۲ تعداد اتمهای تشکیل شده تریتم و قرائت خوزای دزیمترها در کنار هم وارد شده است. با وجود خطایی که در هنگام پرتودهی در رآکتور در اندازه‌گیری‌ها وارد شده است میتوان روند یکسانی را با افزایش میزان تریتم درون دزیمتر مشاهده کرد. این روش می‌تواند علاوه بر اندازه‌گیری شارش نوترونهای حرارتی برای اندازه‌گیری میزان بازیافت سوخت رآکتورهای گداخت نیز مورد استفاده قرار گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری:

در این تحقیق روشی برای تعیین میزان تریتم تشکیل شده در دزیمترهای حاوی ${}^6\text{Li}$ که تحت فلوننس نوترونهای حرارتی قرار گرفته‌اند با استفاده از اکتیوسازی TLD ارائه شده است.، برای اینکه دزیمترها دارای میزان یکسانی از ${}^6\text{Li}$ باشند از $\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Ti})$ یا TLD-100 با ترکیب طبیعی ایزوتوپ‌ها استفاده شده‌است. اکتیویته دزیمترهای TLD در



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

نتیجه تولید تریتیوم های واکنش ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ و ترمولومینسانس ناشی از آن، محاسبه و با اثر ترمولومینسانس بعد از یک دوره نگهداری اندازه گیری شد.

اثر تخریبی دز شدید داخل قلب رآکتور که باعث عدم ثبات حساسیت دزیتر می شود. بوسیله اعمال یک سیکل حرارتی مخصوص حساسیت دزیتر تثبیت شد. با استفاده از رابطه مستقیم بین اکتیویته درونی دزیتر میتوان میزان تشکیل تریتیوم را بعد از پرتو دهی نوترون حرارتی بدست آورد. برای افزایش دقت در اندازه گیری در درجه اول کالیبراسیون در یک میدان نوترون حرارتی با شارش دقیق انجام شود و تعداد دزیترها و دفعات پرتو دهی را افزایش داد. در مرحله کاربرد این روش میتوان از تعداد کمتری دزیتر استفاده نمود.

مراجع:

- [1] F.Torkzadeh ,F.Manouchehri, F. Yoosefinejad, S.Baradaran, In-core thermal neutron fluence measurement by TLD-activation method, , Nucl. Instr. And Meth .Vol. **580**,1410-1413, (2007)
- [2] E.Piesch, B.Burgkhardt, A.M.Sayed, Nucl. Instr. And Meth .Vol. **157**, p. 179 (1978)
- [3] E.Piesch, B.Burgkhardt, I Hofmann, Nucl. Instr. And Meth .Vol. **138**, p.157 (1976)
- [4] E.Piesch, B.Burgkhardt, D.Singh, in : Proceedings of 5th International conference on Luminescence Dosimetry , Sao polo , ,P.94, 1997