

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

طراحی، ساخت و آزمایش آشکارساز ترموپیلی نوترون در ستون حرارتی رآکتور تحقیقاتی تهران

احسان علی بیگی^{۱*}، محمدرضا قاسمی^۲، مجتبی شمسایی^۱، صابر نانکلی^۳

۱- دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، گروه مهندسی پرتو پزشکی

۲- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده فیزیک و شتابگرها، گروه پژوهشی شتابگرها

۳- دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری‌های پیشرفته، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، گروه مهندسی هسته‌ای

چکیده

نیاز به آشکارسازهای نوترون با توجه به کاربرد وسیع آن‌ها در رآکتورهای هسته‌ای و دستگاه‌های شتاب دهنده‌ی خطی، امری ضروری می‌باشد. هدف این مقاله طراحی ساخت آشکارساز نوترون با قابلیت جبران سازی پاسخ گاما است. آشکارسازهای ترموپیلی شامل چندین پیوندگاه ترموکوپل بوده که توسط مواد مبدل نوترونی از جمله بور، لیتیم و اورانیوم احاطه شده است. برهم‌کنش‌های نظیر (n, α) ، (n, p) یا $(n, fission)$ در پیوندگاه احاطه شده با مبدل نوترون، با آزادسازی انرژی ذرات باردار تولیدی، سبب افزایش دما پیوندگاه شده که منجر به ایجاد نیروی محرکه القایی می‌شود. آستانه پاسخ‌دهی این آشکارساز در ستون حرارتی رآکتور تحقیقاتی تهران $1.5 \times 10^4 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ می‌باشد.

کلمات کلیدی: آشکارساز نوترون، ترموپیل، جبران سازی پاسخ گاما، رآکتور تحقیقاتی تهران

مقدمه

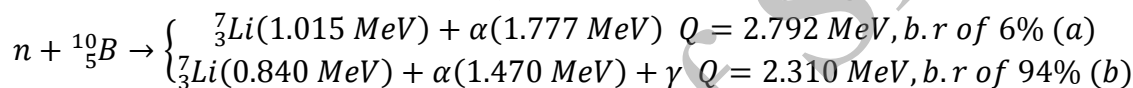
چگالی شار بالای نوترون حرارتی در هسته‌ی یک رآکتور هسته‌ای را می‌توان با اندازه‌گیری اثر ماکروسکوپیکی از حرارت تولیدشده، زمانی که تحت بمباران نوترونی قرار می‌گیرد را محاسبه کرد. اندازه‌گیری مقاومت در ازای تغییرات دمایی و یا روش‌های جبران سازی، از روش‌های معمول جهت محاسبه چگالی شار نوترون حرارتی، می‌باشند. در یک ترموپیل با اتصالات یک‌درمیان پوشیده با ^{10}B یا دیگر مواد مناسب (^{235}U و ^6Li) که می‌توانند به جای ^{10}B به کار گرفته شوند، می‌تواند در ابعاد نسبتاً کوچک‌تری طراحی شود. این نوع آشکارساز نوترونی برای اندازه‌گیری‌های اسکن شار ایده‌آل می‌باشد [۱]. طراحی اولیه ترموپیل نوترون، فار، باربارازو کورانز در آزمایشگاه اوکریج از بور به‌عنوان مبدل نوترون و ترموکوپل‌های کروم-آلومل، کروم-مس و پلاتین-مولیبدن استفاده کردند، که ترموپیل نوترون موردنظر دارای ۴۲ پیوندگاه، شامل ۲۱ پیوندگاه بدون پوشش دهی و ۲۱ پیوندگاه با پوشش دهی بور بود [۲]. لاپسلی در دانشگاه شیکاگو یک ترموپیل ۱۰ واحدی از مبدل نوترون به کاربرد و حساسیت ۱ میلی ولت را در شار $10^{11} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ گزارش کرد [۳]. گزارش دیگری از جاگ، بالنجر و وید ارائه شد که در این آشکارساز دی بوران (B_2H_6) به‌عنوان ماده پوشش دهنده حساس به نوترون برای پیوندگاه ترموکوپل از جنس کروم-آلومل، استفاده شد [۱]. سیرولیتی، گیزلون و ریسپلی در مرکز

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

مطالعات هسته‌ای ایتالیا، ساخت آشکارساز ترموپیلی با خاصیت جبران سازی پاسخ گاما و حذف اثر دمای محیط را با استفاده از مهره‌های بور و آلومینیوم، گزارش کردند [۴].

روش انجام کار :

واکنش نوترون با بور یکی از مهم‌ترین و مفیدترین واکنش‌ها برای آشکارسازی نوترون گرمایی می‌باشد. $^{10}_5B$ به دلیل نزدیکی به 3He به لحاظ سطح مقطع جذب نوترون و مقادیر Q بزرگ‌تر برای ذرات باردار به‌عنوان یکی از بهترین جایگزین‌ها برای 3He شناخته شده است. فراوانی $^{10}_5B$ در بور طبیعی در حدود 19.8% است [۶ و ۵]. اگر واکنش گیراندازی $^{10}_5B(n, \alpha)Li$ را با سطح مقطع 3840 بارن در نظر بگیریم:



سلول پوشش داده شده با بور به دلیل برهمکنش ذرات بور با نوترون‌ها و آزاد شدن ذرات باردار پرنرژی (2.4 MeV)، باعث تولید حرارت در این سلول می‌شود. در صورتی که این حرارت توسط وسایل اندازه‌گیری دما اندازه‌گیری شود می‌توان تناسبی بین چگالی ذرات نوترون و دمای تولید شده ایجاد نمود. از سلول‌های پوشش دهی شده با آلومینیوم، برای حذف اثر پرتوهای گاما استفاده شده، زیرا آلومینیوم به لحاظ عدد اتمی به بور نزدیک بوده و سلول مورد نظر، به صورت تفاضلی در طراحی آشکارساز قرار می‌گیرد [۷].

تفجوشی یا سینترینگ یکی از مهم‌ترین روش‌های شکل‌دهی مواد فلزی و سرامیکی می‌باشد. در این روش ابتدا ماده اولیه، که به صورت پودر است، را پرس کرده و در کوره قرار می‌دهند تا در دماهای بالای کوره، نفوذ اتمی تشدید شده و اتم‌های ذرات مجاور در یکدیگر نفوذ کرده و ذرات را به هم بچسبانند. از این روش برای پوشش دهی پیوندگاه سیم‌های ترموکوپل نوع K با استفاده از کاربید بور ۵ میکرونی و صفحات آلومینیوم با ضخامت ۰/۲ میلی‌متر استفاده شد. برای ساخت مهره‌ها با استفاده از دستگاه نقطه‌جوش، پیوندگاهی بین ترموکوپل نوع K با ضخامت ۰/۱۸۵ میلی‌متر ایجاد شد. سپس قالب‌های استوانه‌ای سرامیکی به ابعاد ۴ میلی‌متر طول و قطر با استفاده از دستگاه سنگ تراش ساخته شد تا پیوندگاه در داخل قالب به همراه کاربید بور قرار گیرد. پس از آماده شدن نمونه‌ها، برای تفجوشی به داخل کوره خودکار انتقال داده شدند. بعد از این مراحل که نمونه‌های آلومینیومی و کاربید بور آماده شدند، برای قرار دادن این مهره‌ها در داخل آشکارساز و برقراری اتصالات سری، نیاز به صفحه‌هایی بود که مهره‌ها را در خود نگه داشته و کمترین میزان انتقال حرارت را بین مهره‌ها و بدنه داشته باشد. برای این کار از صفحات فیبر استخوان استفاده شد. برای طراحی بدنه آشکارساز از نرم‌افزار Solid works استفاده شد که این طراحی شامل ۴ قطعه آشکارساز با قابلیت نگهداری ۲ صفحه فیبر استخوان با ۱۲ مهره در هر صفحه می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار ولتاژ تولید شده در ترموکوپل‌ها به ازای تغییرات دمایی بسیار کوچک

۱۶۰۵ شماره ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ شماره ۱

می‌باشد، و لذا تولید شده نیاز به تقویت دارد. از همین رو از پیش تقویت‌کننده و تقویت‌کننده و همچنین برای ثبت اطلاعات ارسالی از سیستم پردازنده استفاده شد. پس از برقراری اتصالات داخلی آشکارساز، هوای داخل آشکارساز تخلیه و گاز آرگون با درصد خلوص ۹۹/۹۹٪ وارد آشکارساز شد.

پس از بررسی‌های انجام‌گرفته در مورد انجام شرایط آزمایش و با توجه به این مطلب که آشکارساز ترموپیلی در رده‌ی آشکارسازهای شار متوسط به بالا می‌باشد، ستون حرارتی راکتور تحقیقاتی تهران برای بارگذاری آشکارساز انتخاب شد. دو بلوک گرافیت مرکزی از ۹ بلوک گرافیت ابتدای ستون حرارتی برداشت شد (طول بلوک‌های گرافیت ۱۳۰ سانتی‌متر) [۹ و ۸]. آشکارساز در ۲۰ سانتی‌متری از ابتدای ستون حرارتی قرار داده شد و اتصالات برقرار شد. سپس راکتور از حالت خاموش تا قدرت ۴/۵ مگاواتی شروع به کار کرد.



شکل شماره (۱) نمایی از آشکارساز در فرآیند تخلیه هوا و ورود گاز آرگون



شکل شماره (۲) بارگذاری آشکارساز ترموپیلی در ابتدای ستون حرارتی

نتایج :

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

آشکارساز قابلیت دریافت پاسخ از قدرت ۱/۵ مگاوات را در سیستم‌پردازنده داشته است، که مقدار ۲۰ میلی ولت تغییرات را در بازه ۱/۵ تا ۲/۵ مگاوات ثبت کرده است. تغییر قدرت در بازه‌ی ۲/۵ مگاوات تا ۳/۵ مگاوات، ۱۹ میلی ولت و در بازه ۳/۵ مگاوات تا ۴/۵ مگاوات، ۲۰ میلی ولت، افزایش ولتاژ خروجی آشکارساز را موجب شده است. در واقع بازه تغییرات ولتاژ به ازای تغییرات قدرت از ۱/۵ مگاوات تا ۴/۵ مگاوات ۵۹ میلی ولت می‌باشد. نمونه‌گیری از پاسخ آشکارساز در بازه‌های زمانی یک دقیقه توسط میکروکنترلر انجام شده است. ثبت داده‌ها در هر قدرت راکتور، در مدت ده دقیقه صورت می‌گرفت (ده داده در هر قدرت) که خطای قرائت ولتاژ آشکارساز، حداکثر ± 0.5 میلی ولت می‌باشد. برای به دست آوردن آستانه عملکرد آشکارساز، آزمایش دیگری برای محاسبه شار در محل آشکارساز، با استفاده از ۲ فویل ایندیمی بدون کاور و با کاور کادمیومی، انجام شد که فویل ایندیمی با کاور برای محاسبات شار نوترون فوق حرارتی و فویل ایندیمی بدون کاور برای محاسبات شار نوترون حرارتی و فوق حرارتی می‌باشد. داده‌هایی به دست آمده از فعال‌سازی فویل‌ها به شرح زیر می‌باشد.

جدول شماره (۱) آنالیز داده‌هایی به دست آمده از ایندیم بدون کاور.

NUCLIDE	CENTROID ENERGY	BACKGROUND COUNTS	NET AREA COUNTS	FWHM keV	UNCERT (%) (SIGMA)
IN-116M	۱۰۹۷/۲۷	۳۷۱۸	۴۵۸۷۸	۱/۷۶۶	۰/۵۸
IN-116M	۱۲۹۳/۵۸	۱۰۵۹	۵۸۰۰۵	۱/۹۲	۰/۴۴

جدول شماره (۲) آنالیز داده‌های به دست آمده از ایندیم با کاور کادمیومی.

NUCLIDE	CENTROID ENERGY	BACKGROUND COUNTS	NET AREA COUNTS	FWHM keV	UNCERT (%) (SIGMA)
IN-116M	۱۰۹۷/۲۵	۴۷۹	۶۳۰۹	۱/۶۹۴	۱/۵۳
IN-116M	۱۲۹۳/۵۲	۱۰۳	۸۱۲۹	۱/۸۹۲	۱/۱۷

جدول شماره (۳) اکتیویته فویل‌های ایندیم.

اکتیویته زمان شمارش (بکرل)	اکتیویته زمان شمارش (بکرل)	نوع فویل	عدم قطعیت با 1σ (%)
1.0834×10^7	1.7505×10^5	ایندیم بدون کاور	۰/۳۶
2.4606×10^4	1.3422×10^4	ایندیم با کاور	۰/۹۶

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

جدول شماره (۴) شار نوترون حرارتی به دست آمده در آزمایش فویل.

قدرت راکتور	شار نوترون حرارتی ($n/cm^2.s$)
۱/۵ مگاوات	$1/5260 \times 10^8$
۲ مگاوات	$2/0347 \times 10^8$
۲/۵ مگاوات	$2/5434 \times 10^8$
۳ مگاوات	$3/0521 \times 10^8$
۳/۵ مگاوات	$3/5607 \times 10^8$
۴ مگاوات	$4/0697 \times 10^8$
۴/۵ مگاوات	$4/5781 \times 10^8$

بحث و نتیجه گیری :

جهت کاهش همپوشانی مهره‌های هر ردیف با ردیف بعدی و به دلیل کاهش شار در مسیر پرتو، استفاده از آشکارساز با قابلیت چرخش صفحات، باعث بهبود نتایج شد. برای ساخت مهره‌های کاربیدبور و آلومینیوم از روش‌های تف جوشی و جوشکاری مقاومتی استفاده شد. جهت جبران سازی پاسخ گاما و دمای محیط، مهره‌های آلومینیومی به صورت تفاضلی در آشکارساز قرار داده شد. نتایج نشان می‌دهد، آشکارساز در قدرت ۱/۵ مگاواتی راکتور تحقیقاتی تهران دارای پاسخ است. با استفاده از آزمایش فویل ایندیمی و بعد از تحلیل نتایج، آستانه اندازه‌گیری شار توسط آشکارساز، تقریباً $1/5 \times 10^8 n/cm^2.s$ به دست آمد. با استفاده از آشکارساز ترمویلی نوترون حرارتی ساخته شده، آستانه پاسخ‌دهی شار ۶/۶۶ برابر نسبت به پایین‌ترین آستانه گزارش شده، بهبود یافت. همچنین داده‌های به دست آمده برای شار نوترون حرارتی توسط آزمایش مشابه توسط گروه کاسه ساز و همکاران در ستون حرارتی راکتور تحقیقاتی تهران مورد تأیید قرار گرفت.

مراجع

۶ و ۵ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

- [1] Jaques, T. A. J., H. A. Ballinger, and F. Wade. "Neutron detectors for reactor instrumentation." Proceedings of the IEE-Part I: General 100.123 (1953): 110-116.
- [2] G.Barbaras, J.Farr, J.Kuranz, design and construction of boron coated thermocouple for use neutron field, Public Domain, Google-digitized.
- [3] Lapsley, A. C. A compact neutron-sensitive thermopile. No. ANL-4869. Argonne National Lab., 1952.
- [4] Cervellati, R., R. Gislou, and B. Rispoli. "A study on some models of neutron thermopiles." Nuclear Instruments and Methods 45.2 (1966): 221-232.
- [5] Alex, Mary, et al. "Development of a gamma compensated boron lined ionisation chamber for reactor safety and control applications." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 580.3 (2007):
- [6] Hong, Nina. "An exploration of neutron detection in semiconducting boron carbide." (2012).
- [7] Y. K. Guskov and A. V. Zvonarev, Inst. and Exp. Tech. 5, 821 (1959).
- [8] Kasesaz, Yaser, et al. "A feasibility study of the Tehran research reactor as a neutron source for BNCT." Applied Radiation and Isotopes 90 (2014): 132-137.
- [9] Kasesaz, Yaser, et al. "Design and construction of a thermal neutron beam for BNCT at Tehran Research Reactor." Applied Radiation and Isotopes 94 (2014): 149-151.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی

مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها

اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله