

بررسی خطی بودن پاسخ آشکارسازهای راکتور تحقیقاتی MNSR با استفاده از

اندازه‌گیری دز نوترون و گاما در خروجی کانال خشک

محمدحسین چوپان دستجردی، جواد مختاری*

پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی ۱۵۸۹/۸۱۴۶۵، اصفهان - ایران

چکیده:

در این تحقیق رفتار خطی آشکارسازهای نوترون در راکتور تحقیقاتی MNSR اصفهان در توان‌های مختلف راکتور به صورت تجربی بررسی شد. آشکارسازهای نوترونی اتاقک شکافت در مجاورت قلب راکتور نصب شده اند و شار نوترون تولید شده در قلب را به صورت لحظه به لحظه اندازه‌گیری میکنند. خطی بودن پاسخ این آشکارسازها اهمیت دارد زیرا میزان شار نوترون اندازه‌گیری شده توسط آن‌ها یکی از مولفه‌های مهم تعیین و کنترل توان راکتور است و از این رو بر ایمنی راکتور اثرگذار است. برای این منظور، میزان شار نوترون اندازه‌گیری شده توسط این آشکارسازها در توان‌های مختلف راکتور با مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی میزان دز نوترون در خروجی کانال خشک راکتور مقایسه گردید. نتایج نشان داد در گستره‌ی شار نوترون 10^{10} تا 10^{12} n.cm⁻².s⁻¹ که معادل با توان ۳۰ وات تا ۳۰ کیلووات است و بیشترین نرخ بهره برداری راکتور صورت می‌گیرد، پاسخ آشکارسازها با دقت قابل قبولی با مقادیر حاصل از دزیمتری همخوانی دارد و به صورت خطی است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به پاسخ خطی و منحصر به فرد دز نوترون و گاما در راکتور مینیاتوری، می‌توان از باریکه خروجی راکتور برای کالیبراسیون آشکارسازهای نوترون و گاما در گستره وسیعی استفاده نمود.

کلیدواژه‌ها: راکتور MNSR، آشکارساز نوترون، دزیمتری، بیم لاین نوترونی.

Investigation of linearity response of MNSR research reactor detector through the measurement of neutron and gamma dose at dry channel output

M. H. ChoopanDastjerdi, J. Mokhtari*

Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, Isfahan, Iran

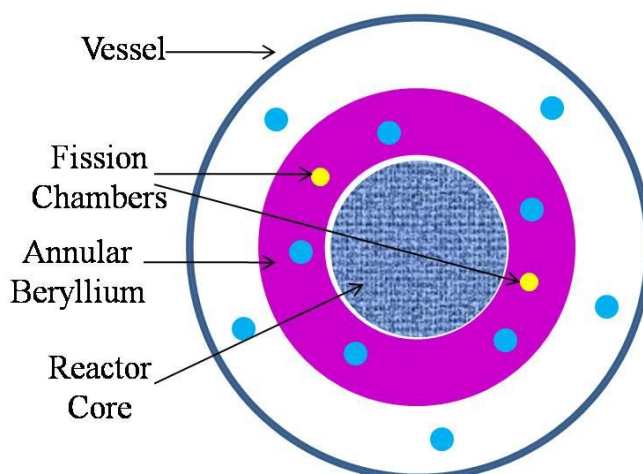
Abstract:

In this study, the linear response of the neutron detectors of the Isfahan MNSR has been investigated at different reactor powers. Fission chamber neutron detectors were installed near the reactor core and measure instantaneously the generated neutron flux in the reactor core. The linear response of these detectors is important because the measured neutron flux by these detectors is one of the important parameters of determination and control of the reactor power and therefore is effective on reactor safety. For this purpose, the measured neutron flux by these detectors at different reactor powers have been compared to the measured neutron dose at the output of the dry channel. Results have been shown that in the range of 10^9 to 10^{12} n.cm⁻².s⁻¹ neutron fluxes, that is equal to 30 W to 30 kW and the highest reactor operation rate is done in this range, the response of neutron detectors is in good agreement with the values obtained from dosimeters and is linear. The results of this study show that due to the linear and unique response of neutron and gamma dose in a MNSR reactor, the reactor output beam can be used to calibrate neutron and gamma detectors in a wide range.

Keywords: MNSR reactor, neutron detector, dosimetry, neutron beamline.

۱. مقدمه

برای کنترل و مانیتورینگ عملکرد راکتورهای هسته‌ای، هم از نوع راکتورهای قدرت و هم از نوع راکتورهای تحقیقاتی از تجهیزاتی نظیر حسگرها^۱ و آشکارسازها استفاده می‌شود. این تجهیزات در مکان‌های مختلف راکتور نظیر تانک، استخر، داخل یا خارج از قلب راکتور نصب می‌شوند و برای آشکارسازی و اندازه‌گیری پارامترهای مختلفی از راکتور نظیر دمای آب، شار نوترون، دز گاما، و هدایت الکتریکی آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندازه‌گیری، ثبت و پردازش اطلاعات این تجهیزات معمولاً در اتاق کاربری راکتور و با اتصال الکتریکی و الکترونیکی مابین تجهیزات و دستگاه‌ها صورت می‌گیرد. آگاهی از میزان شار نوترون درون قلب برای کنترل راکتور بسیار مهم و حیاتی می‌باشد زیرا یکی از روش‌های تعیین توان (قدرت) راکتور با استفاده از شار نوترون می‌باشد [۱ و ۲]. برای این منظور معمولاً آشکارسازهای نوترون نظیر اتاقک شکافت^۲ در مجاورت قلب راکتور نصب می‌شوند و سیستم تقویت کننده و منبع ولتاژ بالای آشکارساز نیز درون اتاق کنترل موجود هستند تا میزان شار نوترون را که به صورت جریان الکتریکی توسط کابل به اتاق کنترل منتقل می‌شود را ثبت نمایند [۳]. این آشکارسازها باید یک پاسخ خطی داشته باشند به گونه‌ای که تغییرات میزان شار نوترون را هم به خوبی نشان دهند و هم قابل اعتماد باشند زیرا یکی از روش‌های مونیتورینگ و کنترل راکتور مقدار شار نوترونی ثبت شده است [۴ و ۵]. راکتور تحقیقاتی MNSR^۳ یک راکتور تانک-استخری با حداکثر توان ۳۰ کیلووات است که کندکننده، خنک کننده و حفاظ بیولوژیکی آن آب سبک می‌باشد. قلب این راکتور به شکل یک استوانه با ارتفاع و قطر یکسان ۲۳ سانتی‌متر است که تعداد ۳۴۳ میله سوخت متشکل از UAl_4 با غنای ۹۰.۵ درصد در ده دایره هم مرکز چیده شده اند (شکل ۱). قلب راکتور با بازتابنده برلیومی احاطه شده است و دو عدد آشکارساز نوترونی اتاقک شکافت درون برلیوم جانبی تعبیه شده‌اند (شکل ۱).



شکل ۱. مقطع عرضی قلب راکتور MNSR

این راکتور قادر است شار نوترون $10^{12} n.cm^{-2}.s^{-1}$ را در حداکثر توان خود در محل برلیوم جانبی تولید کند [۶ و ۷]. سیستم کنترل راکتور متشکل از دو بخش کنسول (آنالوگی) و کامپیوتر (دیجیتالی) است دو آشکارساز مذکور سیگنال‌های مستقلی را برای تعیین میزان شار نوترون برای این دو بخش ارسال می‌کنند. یکی از روش‌های تعیین قدرت راکتور، استفاده از میزان شار نوترونی است که این آشکارسازها اندازه‌گیری می‌کنند. این آشکارسازها در محدوده شار نوترونی 10^9 تا $10^{12} n.cm^{-2}.s^{-1}$ پاسخی خطی دارند که معادل با توان ۳۰ وات تا ۳۰ کیلووات است. هدف از این تحقیق

^۱Sensors

^۲Fission chamber

^۳Miniature Neutron Source Reactor

بررسی میزان خطی بودن پاسخ این آشکارسازها با استفاده از اندازه‌گیری میزان دز گاما و نوترون در خروجی کانال خشک این راکتور می‌باشد.

۲. روش کار

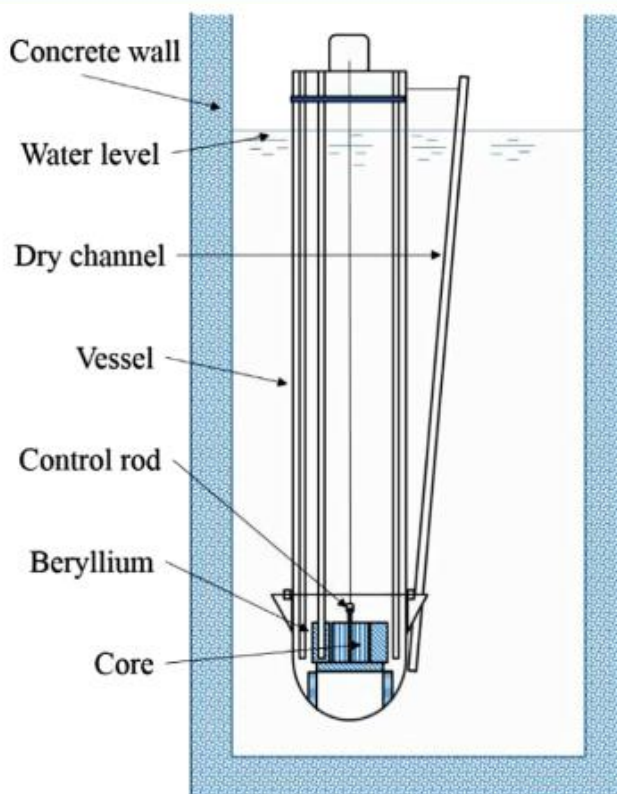
برای تعیین شار نوترونی راکتور دو عدد آشکارساز نوترونی اتافک شکافت مدل LB1120 با قطر ۵ میلی‌متر هستند که در برلیوم جانبی قلب راکتور نصب شده‌اند. پالس‌های تولید شده از این آشکارسازها به صورت دو پالس مجزا به سیستم‌های کنترل راکتور یعنی سیستم کنسول و سیستم کامپیوتر ارسال می‌شود [۷]. شایان ذکر است مانیتورینگ و کنترل راکتور از هر دو سیستم کنسول و کامپیوتر امکان‌پذیر است. اگرچه در محل نصب آشکارسازها میزان شار نوترون تقریباً یکسان است اما معمولاً بین مقادیری که این دو بخش نمایش می‌دهند تفاوت‌هایی وجود دارد که می‌تواند ناشی از عواملی نظیر آماری بودن فرآیند آشکارسازی و همچنین الکترونیک متفاوت این دو بخش، برای رعایت اصل افزونگی^۴ در طراحی راکتور باشد. برای اندازه‌گیری میزان دز نوترون از دزیمتر نوترونی NE Monitor NM2 و برای اندازه‌گیری دز گاما از دزیمتر گامای Teletector 6112B استفاده شد (شکل ۲). دزیمتر نوترونی در واقع متشکل از یک آشکارساز BF_3 است که درون یک کندکننده نوترون از جنس پلی اتیلن و به شکل استوانه‌ای قرار دارد. محدوده قرائت دز نوترون توسط این دزیمتر از $1 \mu Sv/h$ تا $100 mSv/h$ می‌باشد. دزیمتر گاما نیز متشکل از یک آشکارساز گایگر-مولر می‌باشد و محدوده قرائت دز آن از $1 \mu Sv/h$ تا $10 Sv/h$ می‌باشد.



شکل ۲. دزیمتر گاما (بالا) و دزیمتر نوترون (پایین)

محلی که برای اندازه‌گیری دز نوترون و دز گاما انتخاب شد در محل خروجی کانال خشک این راکتور بوده است (شکل ۳). کانال خشک متشکل از یک لوله آلومینیومی با قطر ۵ سانتی‌متر و طول ۴۵۰ سانتی‌متر با یک انتهای بسته است که در استخر راکتور نصب شده است به گونه‌ای که قسمت سر بسته آن در نزدیکترین فاصله از تانک راکتور و روبروی قلب راکتور است و سر باز آن، که خروجی آن نیز محسوب می‌شود، همسطح قسمت بالایی تانک راکتور قرار دارد (شکل ۳) [۸].

⁴Redundancy



شکل ۳. نمای جانبی راکتور MNSR

آب درون استخر در واقع حفاظ بیولوژیکی راکتور نیز محسوب می‌شود و وجود کانال خشک باعث ایجاد یک ستون هوا مابین چشمه نوترون و هال راکتور می‌شود و اجازه ترابرد نوترون و گاما را به خارج از حفاظ بیولوژیکی می‌دهد. به عبارتی دیگر، کانال خشک یک باریکه نوترون و گاما را برای انجام آزمایشات و پرتودهی‌های خارج از قلب فراهم می‌کند. اندازه‌گیری دز نوترون و گاما در ۵ توان مختلف راکتور از ۳۰۰ وات تا ۳۰۰ کیلووات انجام شد.

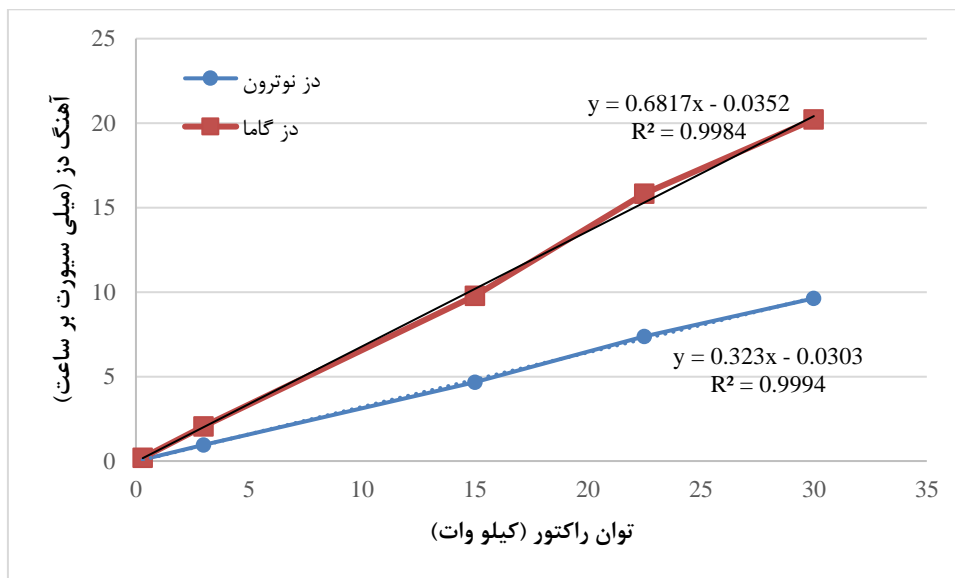
۳. نتایج و بحث

میزان دز نوترون و دز گاما برای هر کدام از ۵ توان راکتور بیش از ده بار قرائت شد و برای هر مجموعه از شمارش‌ها از قرائت‌های میانگین‌گیری شد. نتایج حاصل از قرائت دز نوترون و گاما در هر توان راکتور به همراه میزان شار نوترونی قرائت شده از دو آشکارساز در جدول ۱ نشان داده شده است. شایان ذکر است این دزیمترها سالیانه در مرکز آزمایشگاه ثانویه استاندارد دزیمتری (SSDL) با استفاده از چشمه‌های استاندارد کالیبره می‌شوند.

جدول ۱. مقادیر شار نوترون و دزهای نوترون و گاما

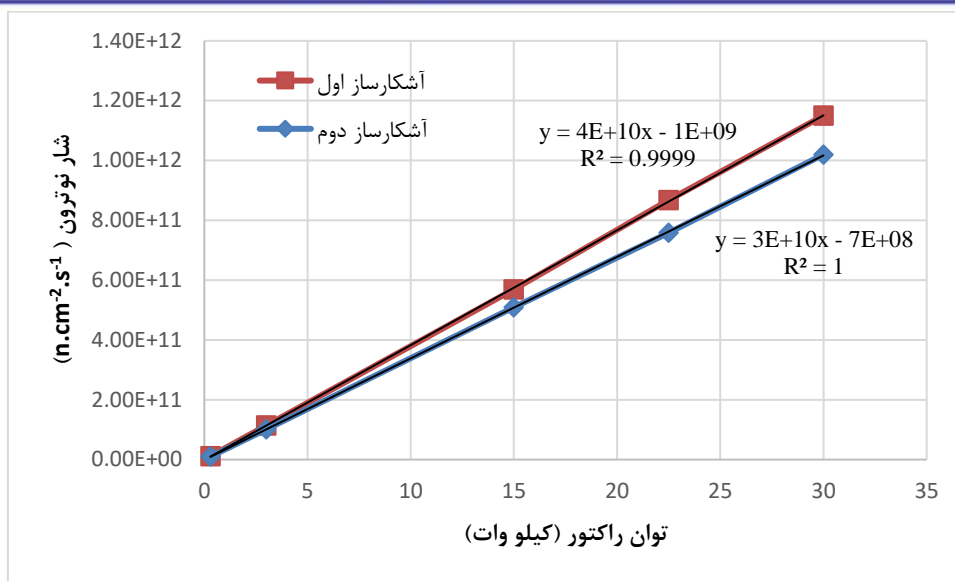
توان (کیلووات)	شار نوترون آشکارساز اول ($\times 10^{10} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	شار نوترون آشکارساز دوم ($\times 10^{10} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	دز نوترون (mSv/h)	دز گاما (mSv/h)
۰.۳	۱.۱۵	۱.۰۲	0.087	۰.۱۹۶
۳	۱۱.۴	۱۰.۱	0.957	۲.۰۵۷
۱۵	۵۶.۹	۵۰.۹	4.675	۹.۷۹۱
۲۲.۵	۸۶.۸	۷۵.۸	7.373	۱۵.۸۲۶
۳۰	۱۱۵	۱۰۲	9.628	۲۰.۲۱۸

به منظور بررسی روند تغییرات دز نوترون و گاما با تغییر توان راکتور، نمودار دز بر حسب توان در شکل ۳ رسم شده است. همانطور که از شکل ۳ پیداست، با افزایش توان راکتور، یا به عبارتی با افزایش شار نوترون در قلب راکتور، میزان دز نوترون و گاما در محل خروجی کانال خشک نیز به صورت خطی افزایش مییابد.



شکل ۳. نمودار تغییرات دز نوترون و گاما در محل خروجی کانال خشک نسبت به تغییر در توان راکتور

همانطور که پیشتر اشاره شد، خروجی کانال خشک همسطح با سطح بالایی تانک راکتور و بیرون از استخر راکتور است که فاصله ای حدود پنج متر از قلب راکتور دارد و با توجه به قطر ۵ سانتیمتری که دارد امکان پرتودهی نمونه ها را خارج از قلب فراهم میکند. با توجه به خطی بودن روند تغییرات دز نوترون و گاما نسبت به توان راکتور در این محل، می توان با تنظیم توان در مقادیر مشخص، به دزهای نوترون و گامای مشخصی از چند میکروسیورته تا چند میلی سیورته دست یافت. همچنین چنانچه اشکال یا خطایی در عملکرد آشکارسازهای اتاقک شکافت پیش آمد، با توجه به مقادیر دز نوترون و گاما در این محل می توان میزان شار نوترون قلب و توان راکتور را تعیین نمود. به منظور بررسی روند تغییرات شار نوترون آشکارسازهای اتاقک شکافت با تغییر توان راکتور، نمودار شار نوترون بر حسب توان در شکل ۴ رسم شده است. همانطور که از شکل ۴ پیداست، با افزایش توان راکتور مقدار شار نوترون نیز برای هر دو آشکارساز اتاقک شکافت به صورت خطی افزایش مییابد.



شکل 4. نمودار تغییرات شار نوترون در محل آشکارسازهای اتاقک شکافت نسبت به تغییر در توان راکتور

بین مقادیری که این دو آشکارساز اندازه‌گیری می‌کنند تفاوت‌هایی وجود دارد که می‌تواند ناشی از عواملی نظیر آماری بودن فرآیند آشکارسازی و همچنین الکترونیک متفاوت به کار گرفته شده برای آن‌ها باشد زیرا آشکارساز اول به سیستم کنترل کنسول راکتور متصل است در حالیکه آشکارساز دوم به سیستم کنترل کامپیوتری متصل است. همانطور که پیداست سیستم متصل به آشکارساز اول مقدار شار نوترون را اندکی بیشتر از سیستم آشکارساز دوم نشان می‌دهد اما روند تغییرات هر دوی آن‌ها کاملاً خطی است.

۴. نتیجه‌گیری

آگاهی از میزان شار نوترون درون قلب برای کنترل راکتور بسیار مهم می‌باشد زیرا یکی از روش‌های تعیین توان (قدرت) راکتور با استفاده از شار نوترون است. قلب راکتور تحقیقاتی MNSR با بازتابنده برلیومی احاطه شده است و دو عدد آشکارساز نوترونی اتاقک شکافت درون برلیوم جانبی به منظور اندازه‌گیری شار نوترون تعبیه شده‌اند. در این تحقیق رفتار خطی این آشکارسازهای نوترون در توان‌های مختلف راکتور بررسی شد. برای این منظور، محل دیگری به غیر از قلب راکتور برای بررسی روند تغییرات دز نوترون و گاما نسبت به تغییر توان راکتور انتخاب شد. این محل خروجی کانال خشک بود که برای برخی آزمایشات پرتودهی خارج از قلب مورد استفاده قرار می‌گیرد و علاوه بر هدف این آزمایش، تعیین دز نوترون و گاما در این محل اهمیت زیادی دارد. میزان شار نوترون اندازه‌گیری شده توسط آشکارسازهای اتاقک شکافت در توان‌های مختلف راکتور با مقادیر اندازه‌گیری شده ی میزان دز نوترون و گاما در خروجی کانال خشک راکتور مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهند پاسخ آشکارسازهای اتاقک شکافت موجود در قلب راکتور با مقادیر حاصل از دزیمتری نوترون و گاما در محل خروجی کانال خشک (بیرون از قلب راکتور) همخوانی دارد و به صورت خطی است. نتایج این تحقیق نشان داد که میتوان از خروجی کانال خشک راکتور با دقت منحصر به فرد برای کالیبراسیون آشکارسازهای نوترون و گاما استفاده نمود. همچنین در صورت اشکال در آشکارسازهای نوترون قلب راکتور با استفاده از دزیمتری در بالای کانال خشک می‌توان این آشکارسازها را کالیبره نمود.

۵. مراجع

1. McGregor, D.S., Adams, M.L., Carron, I. and Nelson, P., 2006. Near-core and in-core neutron radiation monitors for real time neutron flux monitoring and reactor power level measurements (No. DOE/SF/22611). Kansas State University.



2. Hashemi-Tilehnoee, M. and Hadad, K., 2009. Optimizing the performance of a neutron detector in the power monitoring channel of Tehran Research Reactor (TRR). Nuclear engineering and design, 239(7), pp.1260-1266.
3. Žerovnik, G., Kaiba, T., Radulović, V., Jazbec, A., Rupnik, S., Barbot, L., Fourmentel, D. and Snoj, L., 2015. Validation of the neutron and gamma fields in the JSI TRIGA reactor using in-core fission and ionization chambers. Applied Radiation and Isotopes, 96, pp.27-35.
4. Goričanec, T., Žerovnik, G., Barbot, L., Fourmentel, D., Destouches, C., Jazbec, A. and Snoj, L., 2018. Evaluation of neutron flux and fission rate distributions inside the JSI TRIGA Mark II reactor using multiple in-core fission chambers. Annals of Nuclear Energy, 111, pp.407-440.
5. Khalafi, H. and Gharib, M., 1998. Installation, calibration and application of incore miniature neutron detector in Tehran research reactor (TRR). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 413(2-3), pp.374-378.
6. Mokhtari, J., Faghihi, F. and Khorsandi, J., 2017. Design and optimization of the new LEU MNSR for neutron radiography using thermal column to upgrade thermal flux. Progress in Nuclear Energy, 100, pp.221-232.
7. Jijin, G., 1990. General description of miniature neutron source reactor. China Institute of Atomic Energy.
8. Dastjerdi, M.C., Mokhtari, J., Asgari, A. and Ghahremani, E., 2019. A neutron radiography beamline relying on the Isfahan Miniature Neutron Source Reactor. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 928, pp.20-25.