



اندازه گیری ثابت تلاشی نوترونهاى آنی به روش واریانس به میانگین

منوچهر بهفرنیا

سازمان انرژی اتمی ایران، معاونت کاربرد پرتوها

چکیده:

یکی از پارامترهای بسیار مهم در راکتورهای هسته ای ثابت تلاشی نوترونهاى آنی است؛ که با استفاده از آن می توان راکتیویته منفی موجود در راکتور را تعیین نمود. در این آزمایش از ایده واریانس نوترونهاى موجود در راکتور استفاده شده است. اگر یک چشمه نوترون خارجی را در نظر بگیریم، نوترونهاى که از این چشمه ساطع می شوند کاملاً تصادفی و غیر وابسته به یکدیگرند. این نوترونها از توزیع پواسون پیروی می کنند. اما در یک راکتور علاوه بر نوترونهاى تصادفی، نوترونهاى حاصل از شکافت هم تولید می شوند که از شاخه یکسانی تولید شده و دارای یک والد می باشند. چنین نوترونهاى را، نوترونهاى وابسته می نامند. با وجود این نوترونها، توزیع آنها از توزیع پواسون انحراف دارد. با اندازه گیری مقدار انحراف در بازه های زمانی مختلف و اعمال روش برازش حداقل مربعات مقدار ثابت تلاشی نوترونهاى آنی بدست می آید. در این مقاله روش آزمایش نسبت واریانس به میانگین جهت اندازه گیری مقدار ثابت تلاشی نوترونهاى آنی در راکتور صفر قدرت آب سنگین با سوخت اورانیوم طبیعی بیان شده است. مقدار ثابت تلاشی نوترونهاى آنی در ارتفاع بحرانی برابر است با:

گراف	α°	α° تصحیح شده
$\alpha \frac{1}{n}$ α	۶/۵۲	۶/۰۳۶

کلمات کلیدی: کسر نوترونهاى تاخیری، زمان تولید نسل نوترون، ثابت تلاشی نوترونهاى آنی، ارتفاع بحرانی

۱- مقدمه:

یکی از مسائل مهم در طراحی و کارگردانی راکتور، اطلاع دقیق از پارامترهای دینامیکی راکتور است؛ که اثری مستقیم در کارگردانی راکتور دارد.

روشهای بسیاری در اندازه گیری پارامترهای دینامیکی وجود دارد؛ یکی از آنها روش آماری است. این روش بر اساس مشخصه آماری نوترون در راکتور می باشد. می دانیم که رفتار هر نوترون بطور جداگانه تصادفی است؛ اما رفتار جمعیت زیادی از نوترونها بطور میانگین از قاعده آماری خاصی پیروی می کند. یکی از مشخصه های مهم نوترونهاى موجود در یک راکتور این است که آنها کاملاً از یکدیگر مستقل نیستند. برای مثال در یک راکتور زیر بحرانی با یک چشمه نوترون خارجی مثل (α, n) ، نوترونهاى که در واکنش (α, n) تولید می شوند،

وابسته به تابش تصادفی ذرات α بوده و مستقل از یکدیگرند. این نوترونها را، نوترونهای تصادفی غیر وابسته بهم می نامند؛ واز توزیع پواسون پیروی می کنند. در سیستم زیر بحرانی نوترونهای حاصل از شکافت هم تولید می شوند؛ که ممکن است از شاخه یکسانی تولید شده باشند. به این نوع نوترونها نوترونهای وابسته بهم می گویند [۱] و [۲].

در آزمایش آماری سه فرض اساسی در نظر گرفته می شود:

- ۱) مشخصات آماری راکتور با زمان تغییر نکند.
- ۲) مدل راکتور نقطه ای در باره سیستم مورد نظر صادق باشد.
- ۳) تنها نوسانات نوترونهای آنی منظور شده و نوترونهای تاخیری به عنوان زمینه در نظر گرفته می شوند.

مزیت‌های اصلی استفاده از روش آماری عبارتند از :

- ۱) آشفتگی ایجاد شده در راکتور کوچک است.
- ۲) برای به دست آوردن پارامترهای فیزیکی، تنها نوسانات ذاتی نوترون در راکتور مورد نظر است.
- ۳) دستگاههای اندازه گیری و تجهیزات مورد استفاده بسیار ساده اند.

۲- روش کار:

در آزمایش آماری، ثابت تلاشی نوترونهای آنی که از پارامترهای فیزیکی بسیار مهم است؛ اندازه گیری می شود. این پارامتر با رابطه زیر بیان می گردد [۳]:

$$\alpha = \frac{1-k_p}{l} = \frac{\beta_{eff}-\rho}{\Lambda} \quad (1)$$

بطوریکه:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| k_p : ضریب تکثیر نوترونهای آنی | l : طول عمر متوسط نوترونهای آنی |
| β_{eff} : کسر موثر نوترونهای تاخیری | Λ : زمان تولید نسل نوترونها |
| ρ : راکتیویته | |

در حالت بحرانی تاخیری، $\rho=0$ ، در نتیجه رابطه (۱) به رابطه زیر تبدیل می شود:

$$\alpha_0 = \frac{\beta_{eff}}{\Lambda} \quad (2)$$

با توجه به روابط (۱) و (۲)، عبارت زیر برای راکتیویته منفی بر حسب دلار به دست می آید:

$$-\rho(\$) = \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_0} \quad (3)$$

در رابطه (۳) اگر α_0 معلوم باشد، وقتی که راکتور در حالت بحرانی تاخیری است، آنگاه راکتیویته بر حسب دلار ناشی از وارد کردن میله جاذب یا خارج کردن میله سوخت از طریق اندازه گیری α به دست می آید.

اگر α_1 و α_2 ثابت تلاشی نوترونهاي آني قبل وبعد از خارج کردن میله های جاذب باشد، آنگاه ارزش راکتیویته منفی میله جاذب با رابطه زیر به دست می آید:

$$-\rho(\$) = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_0} \quad (4)$$

۲-۱- روش نسبت واریانس به میانگین

نسبت واریانس به میانگین، معیاری از مشخصه نوسانات آماری نوترون در بازه زمانی Δt است؛ که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\frac{\overline{s^2}}{\overline{c}} = \frac{\overline{c^2} - \overline{c}^2}{\overline{c}} \quad (5)$$

برای توزیع پواسون $\overline{s^2} = \overline{c}$ ، لذا نسبت فوق برابر است با:

$$\frac{\overline{c^2} - \overline{c}^2}{\overline{c}} = 1 \quad (6)$$

در سیستم راکتور، علاوه بر نوترونهايي که از توزیع پواسون پیروی می کنند، نوترونهاي وابسته بهم نیز وجود دارند که دارای والد مشترک هستند و باعث انحراف نسبت واریانس به میانگین از مقدار واحد خواهند شد. میزان انحراف از واحد با پارامتر y نشان داده می شود. پس:

$$\frac{\overline{s^2}}{\overline{c}} = \frac{\overline{c^2} - \overline{c}^2}{\overline{c}} = 1 + y \quad (7)$$

پارامتر y با رابطه زیر بیان می شود:

$$y = \frac{\varepsilon D_V}{\rho_p} \left(1 - \frac{1 - e^{-\alpha \tau}}{\alpha \tau} \right) \quad (8)$$

$$\rho_p = \frac{k_p - 1}{k_p} \quad (9)$$

بطوریکه:

ε : راندمان آشکارساز (شمارش از هر شکافت)

$$D_v = \frac{\bar{v}^2 = \bar{v}}{v^2}$$

فاکتور دیون، ناشی از توزیع آماری نوترونها حاصل از شکافت در فاصله زمانی dt

α : ثابت تلاشی نوترونها آنی

τ : فاصله زمانی مورد اندازه گیری

پارامتر γ معیاری است از نوسانات اضافی که موجب انحراف از توزیع پواسون می شوند؛ و گاهی پارامتر همبستگی زنجیره شکافت نامیده می شود. معمولاً مقادیر γ متناظر با مقادیر مختلف τ اندازه گرفته می شود؛ سپس با اعمال روش برازش کمترین مربعات به رابطه (۸) مقادیر α و $\frac{\epsilon D_v}{\rho_p}$ به دست می آید.

۲-۲- محاسبه ثابت تلاشی نوترونها در شرایط بحرانی تاخیری (α_0):

مقادیری که برای α بدست می آیند؛ متناظر با ارتفاعهای مختلف می باشند. با استفاده از رابطه زیر و برازش داده های جمع آوری شده در آزمایش به رابطه مذکور مقدار α_0 بدست می آید.

$$\alpha = \alpha_0 + \frac{b}{\bar{n}} \quad (10)$$

بطوریکه b ثابتی است که اندازه گیری می شود و \bar{n} نرخ شمارش نوترونها در راکتور متناظر با α است.

از آنجاییکه شرط $|\alpha_0| \gg \lambda_i, i = 1, 2, \dots, 15$ در راکتور آب سنگین برقرار نیست، لذا مقدار محاسبه شده برای α_0 با استفاده از رابطه زیر تصحیح می شود:

$$\alpha_c = \frac{\beta_{eff}}{\Lambda} = \left(\sum_{i=1}^{15} \frac{a_i}{\alpha_0 - \lambda_i} \right)^{-1} \quad (12)$$

بطوریکه، $a_i = \frac{\beta_i}{\beta}$ ، λ_i ثابت تلاشی i امین گروه نوترونها تاخیری، $\alpha_c = \frac{\beta_{eff}}{\Lambda}$ ثابت تلاشی تصحیح شده نوترونها آنی تحت شرایط بحرانی تاخیری و Λ زمان تولید نسل نوترون می باشد.

۲-۳- روش آزمایش و تجهیزات

تجهیزات به کار برده شده در این آزمایش عبارتند از:

راکتور صفر قدرت آب سنگین، آشکارسازهای نوترون BF_3 و 3He ، مدار تقویت کننده و تفکیک کننده، سیستم تحلیلگر چند کاناله MCS.

راکتور را در محدوده نزدیک به حالت بحرانی در یک ارتفاع زیر بحرانی تنظیم می کنیم. آشکارسازهای نوترون را در مکانی مناسب در قلب راکتور بطوریکه نسبت سیگنال به زمینه قابل ملاحظه باشد، قرار می دهیم. برای بازه های زمانی τ_i ، مقادیر متناظر y_i را اندازه می گیریم. با برازش نقاط به دست آمده به رابطه (۸)، مقادیر $A = \frac{\epsilon D_V}{\rho_p}$ و α (ی) متناظر با ارتفاع زیر بحرانی را به دست می آوریم. این اعمال را برای چهار ارتفاع زیر بحرانی دیگر نیز انجام می دهیم. متناظراً برای هر ارتفاع، مقادیر α (ی) مربوطه را به دست می آوریم. نتایج حاصله در جداول (۱) و (۲) آورده شده اند.

جدول ۱: مقادیر اندازه گیری شده برای پارامتر y

ارتفاع آب (mm) y پهنای کانال (sec)	۱۵۶۰/۲	۱۵۶۸/۱	۱۵۷۶	۱۵۸۴/۷	۱۵۹۲/۵
۰/۰۰۵	۰/۳۸۶	۰/۴۳۳	۰/۴۵۶	۰/۴۶۳	۰/۵۲۶
۰/۰۱	۰/۷۶۸	۰/۷۰۳	۰/۸۰۱	۰/۸۶۴	۰/۹۹۹
۰/۰۲	۱/۳۲۱	۱/۳۶۳	۱/۵۵۴	۱/۷۷۱	۱/۸۶۴
۰/۰۴	۲/۲۶۰	۲/۴۷۰	۲/۷۰۴	۳/۰۱۶	۳/۳۲۳
۰/۰۶	۲/۹۹۷	۳/۳۵۰	۳/۷۴۲	۴/۰۲۷	۴/۴۶۴
۰/۰۸	۳/۶۶۴	۴/۱۱۰	۵/۵۸۴	۵/۰۵۳	۵/۶۵۴
۰/۱	۴/۰۲۵	۴/۴۰۱	۵/۰۴۳	۵/۸۲۵	۶/۶۴۵

جدول ۲: مقادیر برازش شده α و A در ارتفاع های مختلف

ارتفاع آب (mm)	۱۵۶۰/۲	۱۵۶۸/۱	۱۵۷۶	۱۵۸۴/۷	۱۵۹۲/۵
A	6.67 ± 0.375	7.77 ± 0.65	9.28 ± 0.47	11.09 ± 0.56	14.82 ± 0.787
α	22.78 ± 0.63	20.75 ± 1.0	18.85 ± 0.74	15.91 ± 0.83	13.19 ± 0.95
\bar{n}	$3304.7/sec$	$3839.7/sec$	$4583/sec$	$5902/sec$	$7826/sec$
$\frac{1}{\bar{n}}$	0.000303	0.00026	0.000218	0.000169	0.000128

با برازش مقادیر α و \bar{n} به فرمول (۱۰)، مقدار α_0 ، b و α_0 تصحیح شده طبق جدول (۳) به دست می آید.

جدول ۳: مقادیر محاسبه شده برای α_0 با استفاده از رابطه (۱۰)

Coefficients:		α_0 تصحیح شده
α_0	۶,۵۲۷۳۹۷	۶,۰۳۶۱
b	۵۴۵۶۲,۷۲	
r^2	۰,۹۹۳۸۹۲	

نتیجه گیری :

هر چند که در این روش ملزم به استفاده از تجهیزات پیچیده نیستیم ولی شرط مورد نیاز در آزمایشات آماری وجود نسبت بالای سیگنال به نویز است. علاوه بر این چون در روش آماری از نوسانات درون ذاتی استفاده می کنیم سیگنال تولید شده در مقایسه با روش چشمه پالس نوترونی بسیار کوچکتر است. لذا برای رسیدن به دقت مورد نیاز ، زمان اندازه گیری بسیار طولانی تر است. از طرف دیگر روش آماری برای سیستم های با زمینه پایین و نوسانات بالا مناسب است و برای سیستم هایی مثل راکتور آب سنگین که دارای زمینه بالا و نوسانات این است مناسب نیست. برای رفع این مشکل دو تدبیر اندیشیده شده است. اول اینکه از آشکارسازی با راندمان بالا مثل 3He استفاده کردیم. دوم اینکه مداری طراحی شده است که می تواند زمینه را حذف کرده و در نتیجه اثر زمینه بالا در آزمایش کاهش یابد.

سپاسگزاری:

در اینجا لازم است از جناب آقای دکتر خورسندی ریاست محترم مجتمع پژوهشی کاربرد پرتوها در اصفهان و جناب آقای مهندس جلالی سرپرست محترم بخش مهندسی هسته ای که در فراهم نمودن امکانات از هیچ کوششی فروگذاری نکردند، نهایت تشکر و قدردانی را بنمایم.

مراجع:

- ^۱-F.de Hoffmann, Statistical aspects of pile theory, The Science and Engineering of Nuclear power, ۲, (۱۰۳-۱۱۹), ۱۹۴۹
- ^۲-R.P.Feyman, F.de Hoffmann, Dispersion of the neutron emission in ${}^{235}U$ fission, Nuclear Science and Engineering, ۳, ۶(۱۹۵۶)
- ^۳-HWR Neutron Statistics(CIAE)