

روش اندازه‌گیری ضریب موثر فوتونوترون در راکتورهای آب سنگین

منوچهر بهفرنیا

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

پژوهشکده تحقیقات و توسعه راکتورها و شتاب دهنده‌ها

معاونت فن آوری

چکیده:

برای اندازه‌گیری ضریب موثر فوتونوترون آزمایش زیر در مورد راکتور صفر قدرت آب سنگین اصفهان انجام شد: راکتور را در توان مشخصی قرار می‌دهیم. بعد از چهل دقیقه راکتیویته منفی بزرگی را بطور ناگهانی به راکتور اعمال می‌کنیم. در همین هنگام با استفاده از سیستم اندازه‌گیری، منحنی کاهش فوتونوترون بر حسب زمان را تا رسیدن سطح فوتونوترون به مقدار زمینه ثبت می‌کنیم. در مرحله پردازش اطلاعات، ابتداء جوابی تقریبی برای معادلات حاکم بر مدل نقطه‌ای راکتور بدست آورده و بعد از ویرایش رابطه مذکور، فرمول بدست آمده را به مقادیر تجربی بدست آمده $N(J)$ برازش می‌کنیم.

با آنالیز منحنی بدست آمده مقدار تجربی ضریب موثر فوتونوترون برابر است با:

$$\bar{\theta} = 0.004 \pm 0.002$$

واژه‌های کلیدی: ضریب موثر فوتونوترون، فوتونهای تاخیری، پریود راکتور، راکتور آب سنگین

مقدمه:

در یک راکتور با کند کننده آب سنگین، علاوه بر فوتونهای تاخیری (در اثر واپاشی محصولات شکافت) فوتونوترونهای تاخیری نیز پدید می‌آیند. در حقیقت پرتوهای گاما با انرژی بیش از ۲/۲۳ mev، تحت واکنش (γ, n) با دوتریوم، موجب تولید فوتونوترون می‌شوند.

از نقطه نظر سینتیک راکتور، در یک راکتور حقیقی تمامی اشعه‌های γ با انرژی بیش از ۲/۲۳ mev با دوتریوم واکنش انجام نمی‌دهند. بعضی قبل از ورود به آب سنگین، جذب مواد متشکله قلب راکتور می‌شوند. بنابر این کسری از اشعه‌های γ که می‌توانند به طور موثری باعث تولید فوتونوترونهای تاخیری شوند، ضریب موثر فوتونوترون خوانده می‌شوند. مقدار این ضریب اساساً به اندازه قرص سوخت بستگی دارد. هر چه اندازه قرص سوخت کوچکتر باشد، مقدار این ضریب ($\bar{\theta}$) بزرگتر خواهد شد.

در مورد راکتور آب سنگین بمنظور کارگردانی ایمن راکتور و اندازه‌گیری دقیق پریود در هنگام افزایش توان، پارامتر ضریب فوتونوترون از اهمیت خاصی برخوردار است.

روش کار:

۱- تئوری

می‌توان تغییرات نوترون با زمان را برای یک راکتور بدون چشمه خارجی با معادلات مدل نقطه ای راکتور به صورت زیر بیان کرد [1]:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\delta\rho - \bar{\gamma}\beta}{\Lambda} n(t) + \sum_i c_i(t) \lambda_i \quad (1)$$

$$\frac{dc_i(t)}{dt} = \frac{\bar{\gamma}\beta_i}{\Lambda} n(t) - c_i(t) \lambda_i$$

بطوریکه، $\bar{\gamma}\beta = \bar{\gamma} \sum_{i=1}^6 \beta_i + \bar{\gamma} \sum_{i=7}^{15} \theta_i \beta_i$ ، اگر $\bar{\theta} = \frac{\sum_{i=7}^{15} \theta_i \beta_i}{\sum_{i=7}^{15} \beta_i}$ آنگاه:

$$\bar{\gamma}\beta = \bar{\gamma} \sum_{i=1}^6 \beta_i + \bar{\gamma}\bar{\theta} \sum_{i=7}^{15} \beta_i \quad (2)$$

در روابط فوق:

- $i = 1, 2, \dots, 6$: گروههای نوترونهای تاخیری حاصل از شکافت
- $i = 7, 8, \dots, 15$: گروههای مربوط به فوتونوترونهای تاخیری
- $n(t)$: دانسیته نوترون در راکتور در لحظه t
- $\delta\rho$: راکتیویته منفی آنی برای خاموشی راکتور
- Λ : زمان تولید نسل نوترون
- $\bar{\gamma}$: ضریب موثر متوسط نوترونهای تاخیری
- λ_i : ثابت واپاشی هسته مادر i امین گروه نوترون تاخیری
- c_i : غلظت هسته مادر i امین گروه نوترونهای تاخیری
- β_i : کسر i امین گروه نوترونهای تاخیری
- θ_i : ضریب موثر فوتونوترونهای گروه i ام

وقتی λ_i $\frac{|\delta\rho - \bar{\gamma}\beta|}{\Lambda}$ باشد، آنگاه جواب تقریبی زیر برقرار است:

$$n(t) = \sum_{i=1}^m A_i e^{-\alpha_i t} \quad (3)$$

بطوریکه :

$$A_i = n(0) \frac{\overline{\gamma\theta\beta_i}}{\gamma\beta - \delta\rho} F_i$$

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i}{1 + \frac{\overline{\gamma\theta\beta_i}}{\gamma\beta - \delta\rho}}$$

$$F_i = 1 - e^{-\lambda_i t_0}$$

در رابطه (۳) تابع $n(t)$ را با منحنی بدست آمده (بعد از خاموشی راکتور) از طریق آزمایش جایگزین می‌کنیم. به عبارت دیگر با شمارشهای بدست آمده در هر کانال یعنی $n(t_j)$ ، $j = 1, 2, \dots, N$ ، بطوریکه j ، شماره کانال سیستم تحلیل گر چند کاناله است. بنابراین رابطه زیر بدست می‌آید:

$$n(t_j) = \sum_{i=1}^m A_i e^{-\alpha_i t_j} \quad (4)$$

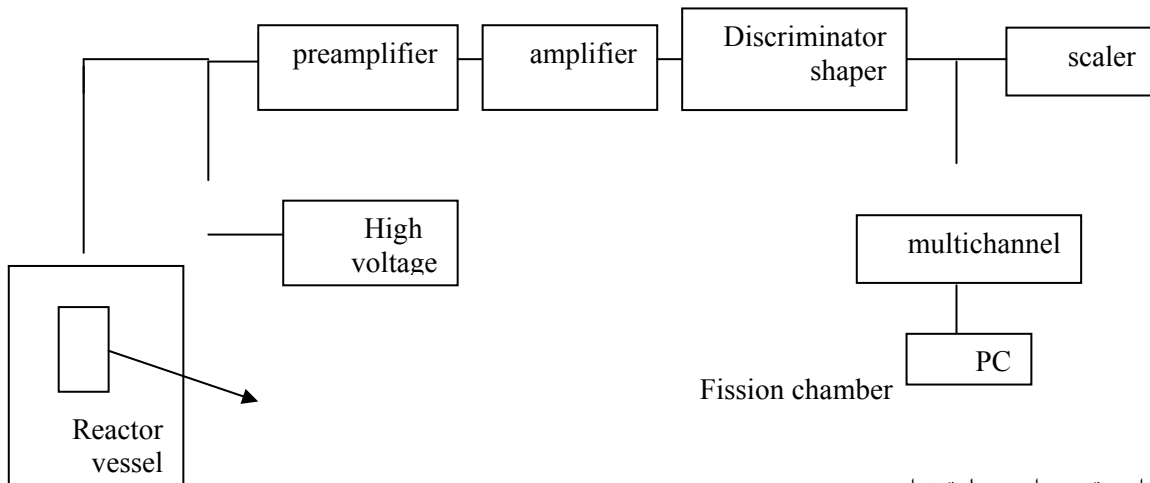
در هنگام کارگردانی راکتور در یک قدرت خاص، دانسیته نوترون یعنی $n(0)$ ، به دقت قابل اندازه‌گیری نیست، لذا ابتداء رابطه (۴) را نرمالیزه می‌کنیم. بدین منظور نقطه‌ای را مثلاً t_s ، در محدوده ۳۰ تا ۶۰ ثانیه بعد از خاموشی راکتور به عنوان نقطه نرمالیزه انتخاب می‌کنیم. بنابراین رابطه (۴) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{n(t_j)}{n(t_s)} = \frac{\sum_{i=1}^6 F_i \beta_i e^{-\left(\frac{\lambda_i t_j}{1 + \frac{\overline{\gamma\theta\beta_i}}{\gamma\beta - \delta\rho}}\right)} + \overline{\theta} \sum_{i=7}^{15} F_i \beta_i e^{-\left(\frac{\lambda_i t_j}{1 + \frac{\overline{\gamma\theta\beta_i}}{\gamma\beta - \delta\rho}}\right)}}{\sum_{i=1}^6 F_i \beta_i e^{-\left(\frac{\lambda_i t_s}{1 + \frac{\overline{\gamma\theta\beta_i}}{\gamma\beta - \delta\rho}}\right)} + \overline{\theta} \sum_{i=7}^{15} F_i \beta_i e^{-\left(\frac{\lambda_i t_s}{1 + \frac{\overline{\gamma\theta\beta_i}}{\gamma\beta - \delta\rho}}\right)}} \quad (5)$$

فرمول بدست آمده در رابطه (۵) در برازش مقادیر آزمایش بوسیله حل تقریبی به کار می‌رود. شمارشهای کانالها را در سمت چپ رابطه (۵) جایگزین کنید. λ_i و β_i در طرف راست از مراجع بدست می‌آید [3]. $\overline{\gamma}$ از محاسبات تئوری حاصل می‌شود و در نتیجه $\overline{\theta}$ از برازش حداقل مربعات بدست می‌آید.

۲- تجهیزات و روش آزمایش

بلوک دیاگرام وسایل اندازه‌گیری مورد استفاده در این آزمایش در شکل زیر نشان داده شده است:



این تجهیزات عبارتند از:

آشکار ساز نوترون از نوع اطاقک شکافت، پیش تقویت کننده، تقویت کننده اصلی، تمایزگر و شکل دهنده، اسکالر، منبع تغذیه ولتاژ بالای DC، تحلیل گر چندکاناله و کامپیوتر جهت جمع آوری و پردازش داده‌ها.

۳- روش آزمایش

ابتداء با انجام آزمایشات مقدماتی، پارامترهای مربوط به سیستم اندازه‌گیری را تنظیم می‌کنیم و آشکار ساز را در نقطه‌ای قرار می‌دهیم که از میدان عملکرد میله‌های ایمنی به اندازه کافی دور باشد. سپس آزمایش اصلی را در دو مرحله بطریق زیر انجام می‌دهیم:

۱- ابتداء راکتور را با افزودن آب به حالت بحرانی برده و سپس میله‌های ایمنی را کاملاً داخل راکتور می‌کنیم. وقتی که میزان شمارش نوترون‌ها ثابت شد، سیستم اندازه‌گیری را روشن نموده و میزان شمارش نوترون‌های موجود در راکتور در رابطه با هر کانال را ثبت می‌کنیم. نهایتاً میانگین حسابی میزان شمارش تمامی کانالها را به عنوان مقدار زمینه نوترون جهت محاسبات بعدی ذخیره می‌کنیم.

۲- میله‌های ایمنی را خارج نموده و راکتور را به مدت ۳۰ تا ۴۰ دقیقه در توان مشخصی قرار می‌دهیم. سپس میله‌های ایمنی را که دارای راکتیویته منفی بزرگی هستند دفعتاً وارد راکتور نموده تا سریعاً خاموش گردد. همزمان با آن سیستم اندازه‌گیری جهت ثبت منحنی تغییرات نوترون بر حسب زمان را روشن می‌کنیم. اینکار تا زمان رسیدن سطح نوترون به مقدار زمینه ادامه می‌یابد. در پایان داده‌های بدست آمده

نسبت به زمان مرگ سیستم اندازه‌گیری و زمینه تصحیح می‌گردند و سپس $\bar{\theta}$ با استفاده از روش برازش حد اقل مربعات مبتنی بر رابطه (۵) بدست می‌آید.

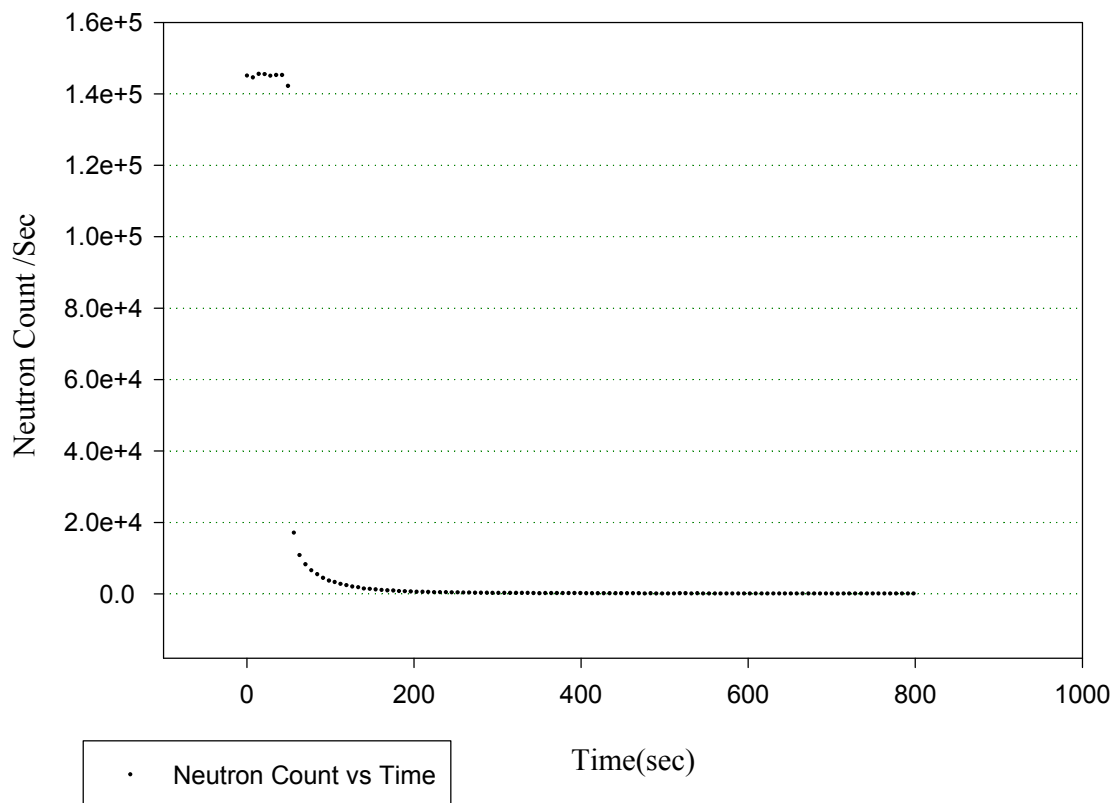
نتایج:

این آزمایش چندین مرتبه تکرار گردید. میانگین نتایج با احتساب انحراف معیار به قرار زیر است:

$$\bar{\theta} = 0.24 \pm 0.004$$

در شکل (۱) منحنی تغییرات رفتار زمانی نوترون بر حسب زمان نشان داده شده است.

شکل (۱) : نمودار تغییرات رفتار زمانی نوترونها بر حسب زمان



بحث و نتیجه گیری:

- معمولا راکتور در یک قدرت مشخص برای مدت زمانی نسبتا طولانی کارگردانی می شود تا تمامی نوترونهای تاخیری به حد اشباع برسند. اما در مورد فوتونوترونهای تاخیری مدت زمان بسیار زیادی وقت لازم است تا تمامی آنها اشباع گردند که در واقع برای اندازه گیری ضریب موثر فوتونوترون در یک راکتور صفر قدرت این نه تنها غیر عملی است بلکه غیر ضروری نیز هست. نکته قابل توجه اینکه داده های β_i در جداول در مورد اکتیویته اشباع پاره های شکافت است لذا برای زمان محدود پرتو دهی مقادیر جدول شده β_i بایستی در فاکتور تصحیح $F_i = 1 - e^{-\lambda_i T_0}$ [4] ضرب شوند که با توجه به شرایط آزمایش زمان ۴۰ دقیقه به عنوان نقطه اپتیمم در نظر گرفته شده است.
- در این آزمایش قدرت خاصی از راکتور مورد نظر نیست. بطور کلی بایستی شمارشهای در هر کانال نیازهای خطای آماری را برآورده کنند. از طرف دیگر میزان شمارش بایستی به آن اندازه باشد که مسئله از دست رفتن شمارشها پیش آید. معمولا آشکارساز در نقطه ای از قلب راکتور قرار داده می شود و توان به گونه ای تنظیم می گردد که میزان از دست رفتن شمارشها برای قسمت ابتدایی منحنی کمتر از ۵٪ باشد.
- تنظیم پارامترهای سیستم اندازه گیری و شرایط کاری بایستی در حالت زمینه و در زمانیکه راکتور در قدرت خاصی قرار دارد یکی باشد. معمولا ده دقیقه و یا کمی بیشتر زمانی مناسب برای جمع آوری داده ها بعد از خاموشی راکتور می باشد.
- بمنظور حذف تاثیر ناشی از اختلالات و وجود هارمونیکهای از مرتبه بالا، در اثر وارد کردن ناگهانی میله های ایمنی از شمارش کانالهای ابتدایی صرف نظر می شود. این بدان معنی است که انتخاب دقیق کانال شروع در برازش بسیار حایز اهمیت است. بنابراین اولین کانالی که از آن به بعد نتیجه بدست آمده برای $\bar{\theta}$ ثابت شود، به عنوان کانال شروع در نظر گرفته می شود.

مراجع:

- 1-Jone R.Lamarsh , Introduction to nuclear reactor theory
- 2 -Edward Profio, *Experimental Reactor Physics*, John Wiley & Sons, 1976
- 3 -"REACTOR PHYSICS CONSTANTS (ANL-5800)", Prepared by Argone National Laboratory. Operated by The University of Chicago
- 4-G.R.Keepin , *Physics of Nuclear Kinetics* ,1965.