



بیت و سومین کتفرانس هسته‌ای ایران

۱۵ و ۱۶ فروردین ۱۳۹۵ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

محاسبه سن فرمی نوترون های شکافت اورانیوم ۲۳۵ در محیط آب-اورانیوم به روش مونت کارلو و مقایسه آن با مقادیر تجربی جهت ارزیابی

بیات، جهانگیر* - کارده، فریما - اسکندری، محمدرضا**

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، دانشکده علوم و کشاورزی و فن آوری های نوین، گروه فیزیک

چکیده

یکی از پارامترهای مهم در طراحی راکتورهای هسته ای، اندازه گیری و تعیین سن فرمی نوترون ها می باشد. در این پژوهش سن فرمی نوترون های حاصل از شکافت اورانیوم ۲۳۵ در محیط آب-اورانیوم به روش عملی و مونت کارلو انجام شد. سن فرمی محاسبه شده به روش مونت کارلو از تطابق خوبی با سن فرمی به دست آمده از روش عملی، برخوردار است.

کلید واژه

سن فرمی، مونت کارلو، تعیین تجربی سن، مخلوط آب-اورانیوم

مقدمه

مهمترین بخش یک راکتور هسته ای قلب راکتور است که محاسبات پیچیده ای برای راه اندازی و کنترل آن صورت می گیرد. از محاسباتی که می توان نام برد سن فرمی است. قلب راکتور از مواد گوناگونی با توجه به طراحی تشکیل شده است، لذا تعیین سن فرمی در شرایط طراحی راکتور نقش مهمی را در محاسبات راکتور دارد. در این کار تحقیقاتی سعی شد که برای مخلوطی از اورانیوم و آب، سن نوترون های شکافت به طور تجربی و محاسبات مونت کارلو تعیین گردد تا جواب های حاصل از روش مونت کارلو با تجربی مقایسه و شیوه محاسبات مورد ارزیابی قرار گیرد.



بیست و سومین کنفرانس هسته‌ای ایران

۱۵ و ۱۶ فروردین ۱۳۹۵، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

روش کار

در تعیین سن فرمی نوترون های شکافت اورانیوم ۲۳۵ در محیط آب-اورانیوم به صورت عملی، از میله های اورانیوم طبیعی به قطر ۳۵ میلی متر و ارتفاع ۱۰۵ سانتی متر که با یک روکش کادمیومی به ضخامت ۰,۶ میلی متر که به منظور جلوگیری از واکنش شکافت توسط نوترون های کند شده چشمه پوشیده شده اند، استفاده گردید.

میله های اورانیوم طبیعی به سه صورت در یک مخزن آب به ابعاد $140 * 100 * 105$ سانتی متری چیده شده اند:

الف) شبکه مثلثی شکل با فاصله های ۴,۳ سانتی متری از مرکز میله ها

ب) شبکه مثلثی شکل با فاصله های ۵ سانتی متری از مرکز میله ها

ج) شبکه مثلثی شکل با فاصله های ۶ سانتی متری از مرکز میله ها

برای ایجاد واکنش شکافت اورانیوم ۲۳۵، از یک قرص اکسید اورانیوم UO_2 ، به ضخامت ۲۲ میلی متر و قطر ۱۰ میلی متر استفاده گردید و با قرار دادن قرص در مسیر یک دسته پرتو نوترون حرارتی که از بیرون مخزن به وسیله یک لوله استیل ۵۰ سانتی متری که با روکش کادمیومی پوشیده شده است، واکنش شکافت در مرکز مخزن تولید گردید. در سیستم تجربی سعی شد چشمه طراحی نزدیکترین ممکن به چشمه نقطه ای باشد.

با قرار دادن پولک های ایندیومی در فواصل مختلف از قرص، تعداد نوترون های با انرژی ۱,۴۶ الکترون ولت شمارش

گردید و با قرار دادن تعداد نوترون های شمارش شده بر حسب فاصله پولک تا قرص در یک دستگاه مختصات

دو بعدی (یکی از ابعاد را در بی نهایت گرفتیم)، نمودار توزیع نوترون ها با انرژی ۱,۴۶ الکترون ولت به دست آمد. با

همسان سازی این نمودار به دست آمده با نمودار یک تابع گوسی و قرار دادن تابع در رابطه انتگرالی ۱، سن فرمی

نوترون های شکافت اورانیوم ۲۳۵ در محیط آب-اورانیوم به صورت عملی تعیین گردید.

$$\tau = \frac{r^{-2}}{6} = \frac{\int_0^{\infty} r^4 \rho(r) dr}{6 \int_0^{\infty} r^2 \rho(r) dr}$$

رابطه ۱: سن فرمی با استفاده از نظریه فرمی

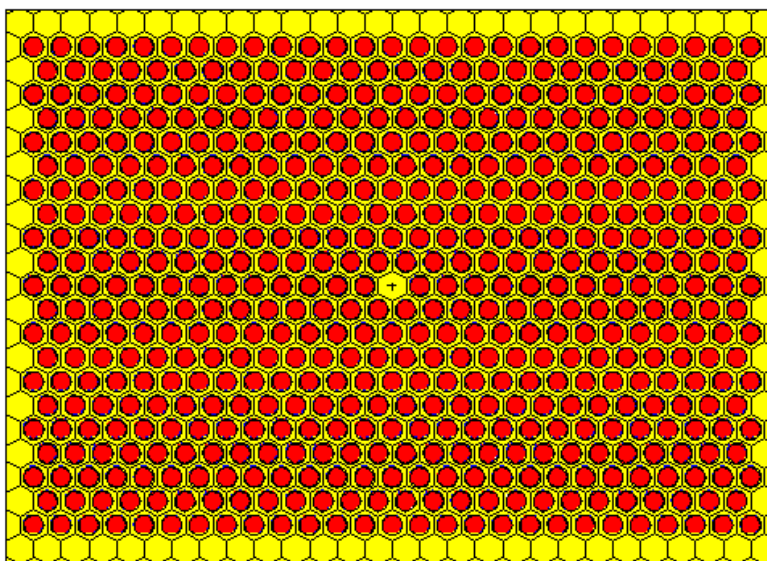
نتایج تعیین سن فرمی به صورت عملی در جدول ۱ ارائه شده است.

۶	۵	۴,۳	فاصله میله های اورانیوم برحسب سانتی متر
37±2	47±2	65±3	سن فرمی عملی (cm ²)

جدول شماره ۱

برای تعیین سن فرمی نوترون های شکافت اورانیوم ۲۳۵ در محیط آب-اورانیوم همانند روش عملی انجام شده، محیط آب- اورانیوم کاملاً توسط کد مونت کارلویی MCNPX شبیه سازی گردید.

در شکل ۱ شبکه میله های اورانیوم طبیعی که با فواصل ۴,۳ سانتی متر از یکدیگر قرار گرفته اند و توسط کد MCNPX شبیه سازی گردیده اند را مشاهده می کنید.



شکل ۱: شبکه میله های اورانیوم طبیعی با فواصل ۴,۵ سانتی متر از یکدیگر

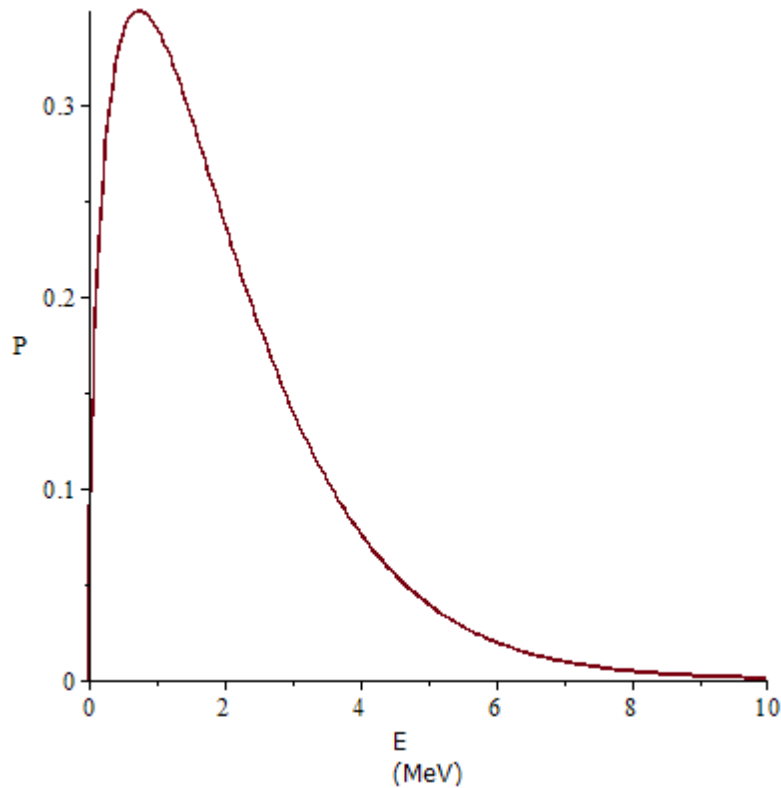
رنگ خاکستری تیره: شبکه میله های اورانیوم طبیعی پوشیده شده به وسیله روکش کادمیومی با فاصله ۴,۳ سانتی متر از یکدیگر

رنگ خاکستری روشن: آب

برای شبیه سازی نوترون های شکافت اورانیوم ۲۳۵ که در مرکز مخزن و به صورت نقطه ای در نظر گرفته شده اند از

طیف وات به معادله $\rho(e) = C \exp\left(-\frac{e}{a}\right) \sinh(be)^{1/2}$ با ضرایب $a=0.0988$ $b=2.249$ $c=4.3962$ استفاده شد.

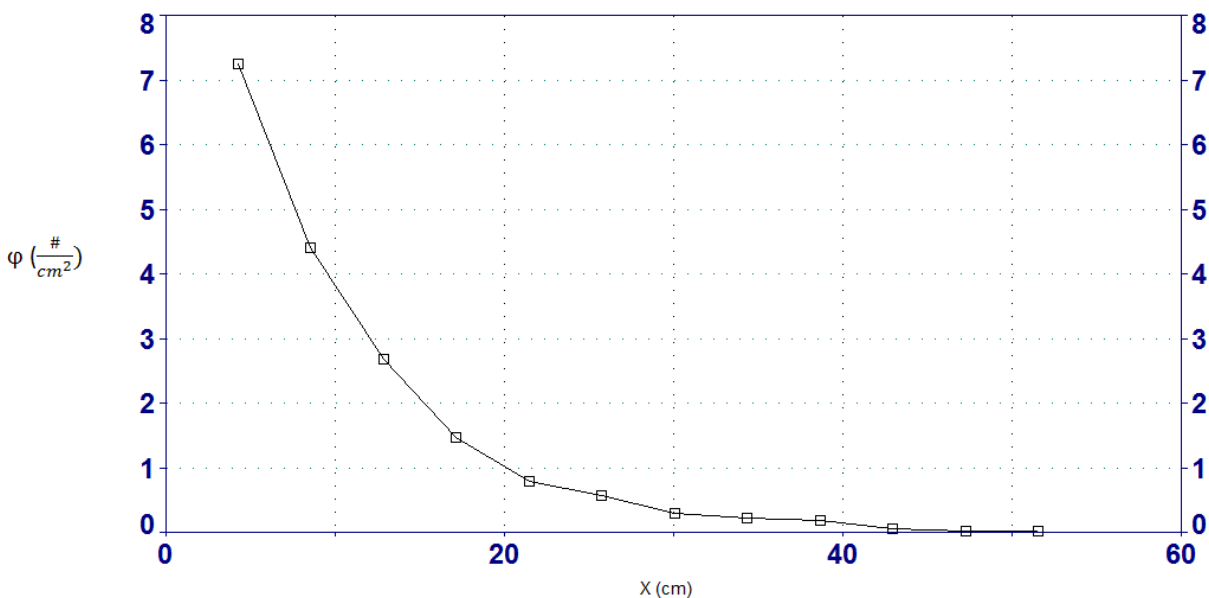
طیف وات نوترون های شکافت اورانیوم ۲۳۵ را در شکل ۳ مشاهده می کنید.



شکل ۳. طیف توزیع وات بر حسب انرژی برای نوترون های شکافت اورانیوم ۲۳۵

P: احتمال E: انرژی بر حسب MeV

همانند آزمایش انجام شده یک پولک ایندیومی طراحی گردید و با قرار دادن مکرر آن در فواصل گوناگون از، چشمه شار نوترونی گذرنده با انرژی ۱,۴۶ الکترون ولت برای فواصل گوناگون اندازه گیری گردید. با قرار دادن شار عبوری بر حسب فاصله برای نقاط متفاوت، نمودار شار برای شبکه آب- اورانیوم با فاصله ۴,۳ رسم گردید. به همین ترتیب نمودار شار عبوری بر حسب فواصل گوناگون برای شبکه آب- اورانیوم با فواصل ۵ و ۶ سانتی متر نیز به دست آمد. در شکل ۴ نمودار طیف به دست آمده برای شبکه میله های اورانیوم با فاصله ۴,۳ سانتی متری را مشاهده می کنید.



شکل ۴. طیف شار نوترونی میله های اورانیوم با فاصله ۴,۳ سانتی متر

φ : شار عبوری از پولک ایندیومی X: فاصله پولک تا چشمه

با همسان سازی نمودار های توابع گوسی متفاوت با نمودارهای به دست آمده، معادله ۳ تابع گوسی که مشابهت خوبی با نمودار های به دست آمده دارند، تعیین شد و با قرار دادن هریک از این سه تابع در رابطه ۱، سن فرمی اندازه گیری شد.

در جدول ۲ سن فرمی محاسبه شده توسط کد مونت کارلویی MCNPX را مشاهده می کنید.

۶	۵	۴,۳	فاصله میله های اورانیوم برحسب فاصله
۳۱,۵	۴۱	۶۳	سن فرمی محاسبه شده به روش مونت کارلو

جدول ۲

بحث و نتیجه گیری

با مقایسه جداول ۱ و ۲ مشاهده می‌گردد که روش مونت کارلو و کد محاسباتی MCNPX از دقت خوبی برای محاسبه سن فرمی برخوردار است، اگرچه تفاوت‌هایی در مقادیر بدست آمده مشاهده می‌شود که به دلایل زیر ممکن است ایجاد شده باشد:

- (۱) مقادیر عملی ممکن است همراه با مقداری خطای آزمایشگاهی در اندازه‌گیری همراه باشد.
- (۲) شماره کتابخانه کد، ENDF70C می‌باشد که این کتابخانه مقادیر عملی سطح مقطع‌های هسته‌ای در دمای ۲۹۳ درجه کلوین می‌باشد، این دما به طور ثابت در کد در نظر گرفته شده است که ممکن است با دمای محیط آزمایش متفاوت باشد.
- (۳) تعداد نوترون‌های رهگیری شده در کد ۲۰ میلیون نوترون می‌باشد، با در نظر گرفتن تعداد نوترون‌های بیشتر ممکن است مقادیر عملی و مقادیر بدست آمده از کد به یکدیگر نزدیکتر گردند.

مراجع

1. L. M. BARKOV, A. P. VENEDIKTOV, and K. N.MUKHIN, "The Slowing Down of Fission Neutrons in Uranium Water Media", J. Nuclear Energy IL 1957. Vol. 4, pp. 103 to 108. Pergamon Press Ltd, London
2. X-5 Monte Carlo Team, "MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5" April 24, 2003 (Revised 2/1/2008)
3. R. K. PASCHALL, "The Age of Fission Neutrons to Indium Resonance Energy in Zirconium-Water Mixtures Part I-Experiment"
4. R. K. PASCHALL, "The Age of Fission Neutrons to Indium Resonance Energy in Aluminum-Water Mixtures" Nuclear Science and Engineering Volume 26/Number 1/September 1966/Pages 73-79
5. V. SPIEGE, "Age of Californium-252 Fission Neutrons to Indium Resonance Energy in Water" Nuclear Science and Engineering Volume 54/Number 1/May 1974/Pages 28-34