

محاسبه حساسیت توان مجموعه زیر بحرانی SAD نسبت به تغییرات شعاع هدف تلاشی

لیلاملاسلطانی^{۱*}، مجیدشهریاری^۲، عباس قاسمی زاد^۳، سیدامیرحسین فقهی^۴

^۱ دانشگاه گیلان، ^۲ دانشگاه شهیدبهبشتی، ^۳ دانشگاه گیلان، ^۴ دانشگاه امیرکبیر،

چکیده

راکتورهای زیربحرانی واداشته با شتابدهنده با توجه به تواناییهای منحصر به فردی که دارند، مورد توجه می باشند. تعیین میزان حساسیت توان راکتور نسبت به پارامترهای هدف از قبیل شعاع، جنس و... از اهمیت بالایی برخوردار است. محاسبات ترابرد پروتون و تولید نوترون های حاصل از فرایند تلاشی با استفاده از کد ¹¹FLUKA به انجام رسید. طیف نوترون های تولید شده از تلاشی هدف به عنوان چشمه نوترون برای محاسبات راکتور زیربحرانی توسط کد MCNP تعریف و توان راکتور تحت این شرایط محاسبه شده است. در این کار پارامترهای باریکه پروتون همانند آنچه در مجموعه SAD¹² برقرار است، در نظر گرفته شده و با تغییر شعاع هدف از ۰/۵ تا ۱۰/۵ سانتی متر محاسبات مذکور انجام و میزان حساسیت توان راکتور به شعاع هدف تعیین گردیده است. نتایج نشان می دهد که در اثر تغییر شعاع هدف دو عامل تعداد و طیف نوترون های خارج شده از سطح هدف در تعیین توان تولید شده در این مجموعه زیربحرانی مؤثر می باشند به گونه ای که با افزایش شعاع هدف از ۰/۵ سانتی متر، توان مجموعه با شیب نسبتاً تندی شروع به افزایش و با افزایش شعاع هدف شیب تغییرات توان نسبت به شعاع هدف کاهش می یابد.

۱- مقدمه

علاقه به توسعه سیستم های واداشته با شتابدهنده به توانایی آنها در سوزاندن و تبدیل Pu¹³, MA و محصولات شکافت با نیمه عمر بالا برمی گردد. از این میان، بیشترین توجه به این سیستم ها به دلیل توانایی ADS¹⁴ در سوزاندن Pu قابل استفاده در جنگ افزارهای اتمی و بکارگیری آن به عنوان سوخت در راکتورهای متداول است.

ایده اولیه سیستم های واداشته با شتابدهنده، فعالیت یک راکتور زیربحرانی واداشته با شتابدهنده پروتونی پر قدرت به منظور شتاب دادن پروتون ها تا انرژی ۱۰۰۰ MeV است. با توجه به این که واکنش

¹¹ FLUctuating KAscade simulation program

¹² Subcritical Assembly at Dubna

¹³ Minor Actinid

¹⁴ Accelerator Driven Systems



زنجره ای شکافت در یک قلب زیر بحرانی خودنگهدار نیست، حضور یک چشمه نوترون خارجی برای راه اندازی ADS الزامیست [۳].

این چشمه نوترون خارجی که در اثر برخورد باریکه پروتونی پر قدرت با هدف فلزی سنگین ایجاد می گردد، منجر به تولید مقادیر معتناهی نوترون توسط واکنش تلاشی^{۱۵} می شود. نوترون های تلاشی پس از برهم کنش های مختلف با هسته هدف به بیرون نشت یافته و سپس در حواشی قلب زیر بحرانی تکثیر می شوند.

تعیین میزان حساسیت توان راکتور به پارامترهای هدف از جمله ارتفاع، جنس و چگالی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این مقاله میزان حساسیت توان راکتور به شعاع هدف که یکی از پارامترهای مهم در طراحی ADS می باشد، محاسبه شده است.

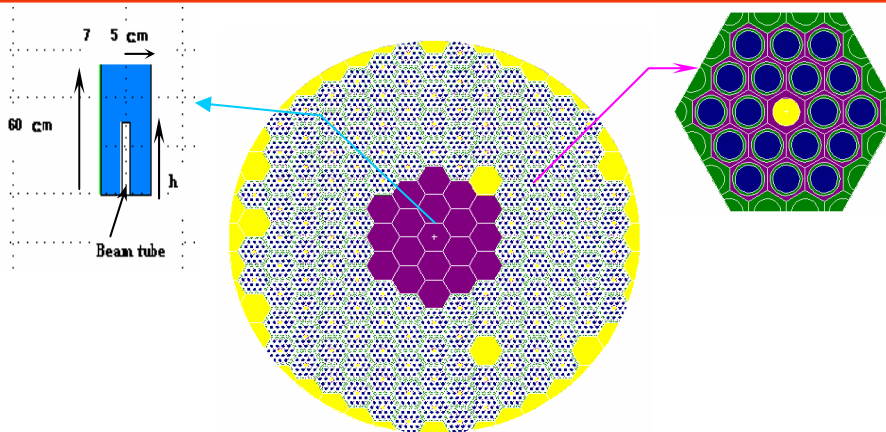
۲- مواد و روش ها

محاسبات مربوط به طراحی هدف و تولید چشمه نوترون در اثر برهمکنش باریکه پروتونی با هدف با استفاده از کد FLUKA و شبیه سازی قلب راکتور و تعیین میزان حساسیت توان راکتور به شعاع هدف تلاشی و چگونگی تغییرات آن با شعاع با استفاده از کد MCNP به انجام رسید.

۲-۱- مشخصات راکتور

به منظور انجام این محاسبات، ساختار قلب مطابق با مجموعه زیربحرانی Dubna انتخاب شده است. راکتور آزمایشگاهی SAD ترکیبی از سه جزء اساسی شتابدهنده پروتونی با انرژی ۶۶۰ MeV، هدف تلاشی و قلب زیربحرانی است که با مجموعه های سوختی MOX پر شده است. شکل (۱) نمایی کلی از قلب راکتور و مجموعه های سوخت را نشان می دهد [۴ و ۱]. پروتون ها پس از تولید توسط شتابدهنده پروتونی از پایین جایی که به هدف فلزی سنگین برخورد می کنند به داخل قلب هدایت می شوند. ناحیه فعال قلب شامل ۱۴۱ میله شش ضلعی است. مجموعه های سوخت MOX محتوی ۳۰٪ PUO_2 و ۷۰٪ UO_2 با چگالی میانگین سوخت تقریباً $10.4 g/cm^2$ است. میزان ^{239}PU در ترکیب پلوتونیم در حدود ۹۵٪ است.

¹⁵ Spallation



شکل (۱) نمایی از قلب زیربحرانی Dubna

شعاع کل قلب ۲۵ cm و ارتفاع ناحیه فعال قلب ۵۱ cm است. قلب توسط یک بازتاباننده سربی که خود با یک حفاظ بیولوژیکی ضخیم از جنس بتون پوشانده شده است، احاطه می شود. در این مجموعه هدف شامل ۱۹ میله شش ضلعی است، طوری که فاصله بین دو وجه مقابل $3/6$ cm و ارتفاع هدف ۶۰ cm است. جنس هدف سرب یا تنگستن می باشد که در این کار محاسبات برای هدف سربی انجام شده است [۲].

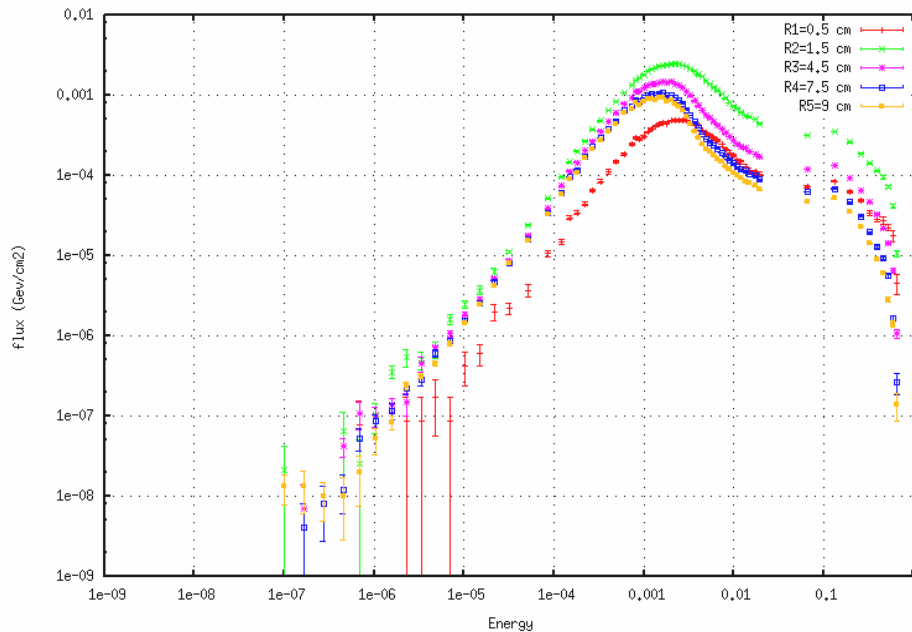
۲-۲- روش محاسبات

به منظور محاسبه توان در مجموعه زیربحرانی SAD ابتدا هدف با استفاده از کد FLUKA شبیه سازی و شار نوترون های خارج شده از سطح هدف تلاشی محاسبه گردید. در مرحله بعد طیف نوترون های به دست آمده از محاسبات FLUKA به عنوان چشمه نوترون در محاسبات قلب زیربحرانی با استفاده از کد MCNP در نظر گرفته شد و توان راکتور به ازای شعاع مفروض محاسبه شد. این فرایند برای شعاع های مختلف هدف تلاشی انجام و نحوه تغییرات و میزان حساسیت توان مجموعه زیربحرانی SAD به پارامتر شعاع هدف تعیین شده است.

۳- نتایج

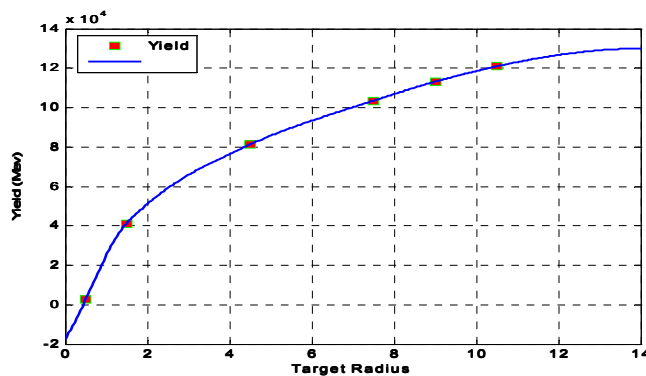
در شکل (۲) تغییرات طیف نوترون های خارج شده از سطح هدف با افزایش شعاع آن نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در شعاع های کمتر از شعاع باریکه پروتون به دلیل پایین بودن

آهنگ اندرکنش تلاشی، دامنه طیف نسبتاً پایین تر از شعاع‌های بزرگتر بوده و طیف نوترون نیز سخت تر از طیف نوترون در حالت‌های دیگر است. لیکن با افزایش شعاع هدف، طیف نوترون‌های خارج شده از سطح هدف به دلیل اندرکنش‌های پراکندگی کشسان و غیرکشسان نوترون در داخل هدف نرم تر می‌گردد.



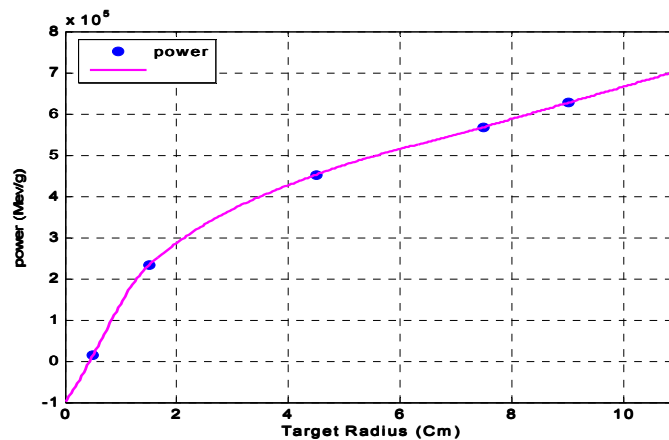
شکل (۲) شار سطحی نوترون‌های تلاشی با استفاده از کد fluka

با افزایش شعاع هدف به میزان چندین برابر پویش آزاد نوترون‌های تولید شده در هدف، گرچه تولید نوترون در اثر تلاشی بیشتر می‌شود ولی از طرف دیگر میزان جذب نیز افزایش یافته و در نهایت آهنگ خروج نوترون‌ها از سطح هدف کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل مشهود است در شعاع‌های از مرتبه ۱۰/۵ سانتی متر تعداد نوترون‌های خارج شده از سطح هدف شروع به کاهش می‌کند. در شکل (۳) تغییرات تعداد نوترون‌های خارج شده از سطح هدف با افزایش شعاع نشان داده شده است.



شکل (۳) تغییرات تعداد نوترون‌های خارج شده از سطح هدف نسبت به شعاع

شکل (۴) تغییرات توان مجموعه زیربحرانی SAD نسبت به تغییرات شعاع هدف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در شعاع های کوچک هدف، توان مجموعه زیربحرانی SAD به شعاع هدف حساسیت بالایی دارد در حالیکه در شعاع های بیشتر از ۳ سانتی متر میزان حساسیت توان مجموعه زیربحرانی نسبت به هدف کاهش می یابد و انتظار می رود با افزایش شعاع هدف از اندازه ۱۰/۵ سانتی متر تغییرات توان راکتور نسبت به شعاع هدف سیر نزولی پیدا کند.



شکل (۴) تغییرات توان مجموعه زیربحرانی SAD نسبت به شعاع هدف تلاشی

۴- بحث و نتیجه گیری

در طراحی راکتور های زیربحرانی واداشته با شتابدهنده، عوامل مختلفی موثرند. در این کار تاثیر شعاع هدف به عنوان یکی از مهمترین پارامترها بررسی گردید. این محاسبات در دو مرحله انجام شد. برای طراحی بهینه لازم است که تاثیر پارامترهای مختلف بررسی شود. برخی از این پارامترها به مشخصات باریکه پروتون و هدف به کار گرفته شده جهت تولید نوترون بر اثر فرایند تلاشی مربوط می شوند و دسته دیگر این پارامترها به مشخصات نوترونیک راکتور وابسته هستند. برای رسیدن به شرایط بهینه می توان تاثیر پارامترهای دیگر را نیز به همین ترتیب مورد بررسی قرار داد.



مراجع

[1] Per Seltborg, *Source efficiency and high-energy neutronics in accelerator-driven systems* Royal Institute of Technology, Stockholm 2005

[2] *Definition and Application of Proton Source Efficiency in Accelerator Driven Systems*. Per Seltborg*, Jan Wallenius, Kamil Tuček, Waclaw Gudowski. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden ۲۰۰۵

[3] *Basics of accelerator driven subcritical reactors*. H. Nifeneckera, S. Davidb, J.M. Loiseauxa, O. Meplana, *. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 463 (2001) 428–467

[4] *AN EXPERIMENTAL ACCELERATOR DRIVEN SYSTEM BASED ON PLUTONIUM SUBCRITICAL ASSEMBLY AND 660 MeV PROTONS ACCELERATOR*, Vladilen S.BARASHENKOV, **Aleksander POLANSKI***, Igor .V.PUZYININ, Alexei N.SISSAKIAN Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna , Moscow reg. Russia* Soltan Institute for Nuclear Studies, 05-400 Otwock-Swierk , Poland