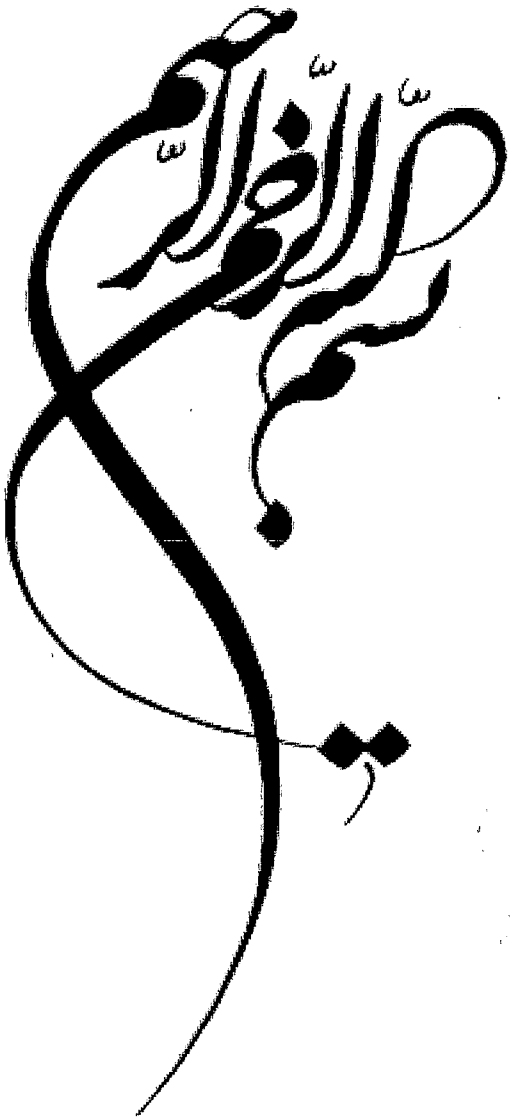


١٠٢٢٨٤

دانشگاه قم
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

اندازه گیری ضرایب انباشت پرتوهای گاما با انرژی های کمتر از 5MeV در آب با استفاده از کد MCNP4c با در نظر گرفتن تابش ترمزی و اثر اندازه چشمه

استاد راهنما
دکتر مهدی نصری نصر آبادی

نگارنده
داود میرزایی

۱۳۸۷ /۲/ ۲۵

۱۳۸۷ /۲/ ۲۵

دی ماه ۱۳۸۶

۱۰۲۲۸۴

تقدیم به همسر مهربانم، دختر عزیزم (فرشته)، و خانواده دلسوزم که با زحمت‌های فراوان مرا یاری کردن تا این مرحله از دانش را با موفقیت به پایان برسانم، انشاءالله با این دانش اندکی که دارم بتوانم خدا را آنطور که هست بشناسم و شکرگزار نعمت‌هایش باشم و به کشور و مردم عزیزم خدمت کنم. هدف فقط خدمت است که از خداوند متعال می‌خوام این توفیق را بده که خدمت گذار باشم. در نهایت تقدیم می‌کنم به ملت رنجور و آواره کشورم (افغانستان) که محروم از سواد شدند.

کارشناسی ارشد فیزیک هسته ای

داود میرزایی

Dmirzai59@yahoo.com

تقدیر و تشکر

با سپاس از خداوند منان که توانستم این مرحله از پله ترقی را با موفقت پشت سر بگذرانم، لذا از استاد راهنمای عزیزم آقای دکتر مهدی نصری نصرآبادی از دانشگاه کاشان، که با راهنمایی‌های خود نقش بسزایی در این پایان نامه داشت کمال تشکر را دارم همچنین از همکاری دانشگاه کاشان و دانشگاه قم نیز سپاسگزاری می کنم.

چکیده :

با در نظر گرفتن انواع برهم‌کنش‌های گاما با ماده، در این کار محاسبه ضرایب انباشت انجام شد. همچنین اثر تابش ترمزی، بدون در نظر گرفتن پراکندگی همدوس برای چشمه‌های نقطه‌ای همسانگرد در آب با حفاظ کروی به روش مونت کارلو با استفاده از کد MCNP4c مورد مطالعه قرار گرفت. این ضرایب با بکارگیری آخرین سطح مقطع های موجود در کد MCNP4c محاسبه شده‌اند که می‌توان بعنوان ضرایب انباشت پرتوگیری اصلاح شده تلقی کرد و در محاسبات حفاظ‌سازی از آنها با در نظر گرفتن تابش ترمزی استفاده کرد[۱۰،۲۵]. اختلاف بین ضرایب محاسبه شده بوسیله کد MCNP4c با دیگر روشها کمتر از ۱۰ درصد است. در این مقاله محاسبات تا ۱۰ مسیر آزاد میانگین انجام شده است.

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تاریخچه ۴

۱-۳ هدف ۵

۱-۴ کاربردها ۵

فصل دوم

واکنشهای هسته ای

۲ - ۱ چشمه‌های تابش ۸

۲-۱-۱ چشمه‌های نوترون ۸

۲-۲ تابش‌های هسته‌ای ۱۱

۲-۲-۱ تابش γ ۱۲

۲-۲-۱-۱ اثر فوتوالکتریک ۱۲

۲-۲-۱-۲ اثر کامپتون ۱۴

۲-۲-۱-۳ تولید زوج و نابودی زوج ۱۴

۲-۲-۲ تابش α ۱۵

۲-۲-۳ تابش β ۱۶

۲-۳ برهم کنش های نوترون ۱۷

۲-۳-۱ پراکندگی کشسان (n,n) ۱۸

۲-۳-۲ پراکندگی غیر کشسان ۱۹
۲-۴ گیراندازی نوترون ۲۰
۲-۵ آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای ۲۱
۲-۵-۱ آشکارساز گایگر مولر ۲۱
۲-۵-۲ آشکارساز سنتیلاتورها ۲۲
۲-۵-۳ آشکارساز BF_3 ..... ۲۳
۲-۵-۴ آشکارساز ^3He ۲۳
۲-۵-۵ آشکارساز TLD ۲۴
۲-۵-۶ آشکارساز HPG ۲۶

فصل سوم

محاسبه ضرایب انباشت

۳-۱ گسیل تابش الکترومغناطیسی ۲۸
۳-۱-۱ ساز و کارهای اتلاف انرژی ذرات باردار ۲۸
۳-۱-۲ اتلاف انرژی ناشی از گسیل تابش ترمزی ۲۹
۳-۲ برهم‌کنش‌های اشعه گاما با ماده و سطح مقطع‌ها ۳۰
۳-۳ نحوه محاسبه ضرایب تضعیف ۳۲
۳-۴ ضریب انباشت ۳۳
۳-۴-۱ آثار هندسی ۳۳
۳-۴-۱-۱ اثر محیط بین چشمه و آشکارساز ۳۴
۳-۴-۱-۲ زاویه فضایی ۳۴

۳-۴-۲ آثار چشمه ۳۵
۳-۵ اثر اندازه چشمه در محاسبات ضرایب انباشت ۳۷
۳-۶ حفاظ ۳۹
۳-۶-۱ حفاظ گذاری ۳۹
۳-۶-۲ تابع پاسخ آشکارساز ۴۰
۳-۶-۳ آهنگ پرتودهی گاما ۴۱
۳-۶-۳-۱ واحدهای پرتودهی ۴۱
۳-۶-۴ آثار آشکارساز ۴۶
۳-۷ ضریب انباشت ۴۸
۳-۷-۱ روش محاسبه ضریب انباشت برای یک کره با شعاع و جنس معین ۵۰
۳-۷-۲ روش تجربی محاسبه ضرایب انباشت ۵۲
۳-۷-۳ محاسبه مسیر آزاد میانگین mfp ۵۳
۳-۸ تصحیحات لازم برای ضریب انباشت ۵۴
۳-۸-۱ تصحیح برای یک حفاظ با گسترش معین ۵۵
۳-۸-۲ تصحیح برای ضریب انباشت با لایه های متوالی حفاظ ها ۵۸
۳-۹ روش مونت کارلو و کاربردهای آن در ترابرد ذرات ۶۰
۳-۹-۱ مزایا و معایب روش مونت کارلو ۶۰
۳-۹-۲ ایده و رویه اصلی در روش مونت کارلو ۶۱
۳-۹-۳ شبیه سازی ذرات ۶۱
۳-۹-۴ کاربردهای این روش ۶۲
۳-۱۰ آشنایی با کد محاسباتی MCNP4c ۶۲

فصل چهارم

بحث و نتیجه گیری

۴-۱ بررسی محاسبات ۹۳

۴-۲ هندسه شبیه سازی ۹۳

۴-۳ نتایج محاسبات ضرایب انباشت برای محیط‌های محدود..... ۹۷

۴-۴ مقایسه ۹۹

۴-۵ نتیجه‌گیری ۱۰۲

۴-۶ نتایج ضرایب انباشت برای محیط‌های بی‌نهایت ۱۰۲

لغت نامه I

فهرست منابع VI

چکیده انگلیسی VIII

فصل اول

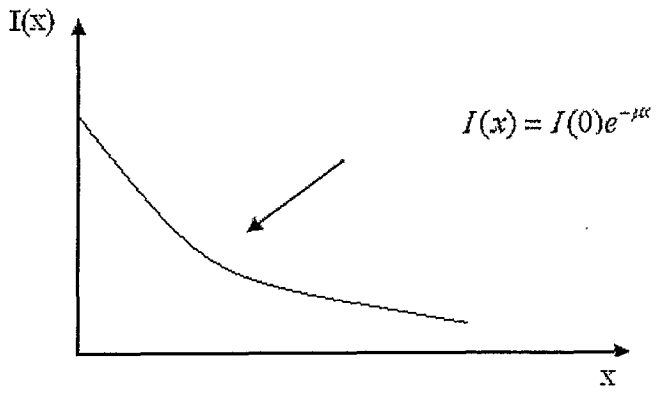
کلیات و مفاهیم اساسی

۱-۱ مقدمه

شدت تابش گاما هنگام عبور از ماده بصورت نمایی کاهش می‌یابد بطوری که در شرایط خوب هندسی یعنی در حالتی که باریکه‌ای موازی بر جذب کننده‌ای با ضخامت (x) فرود آید، تضعیف پرتوهای گاما را می‌توان از معادله زیر بدست آورد :

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \qquad (1)$$

در این رابطه I_0 شدت پرتو فرودی، $I(x)$ شدت پرتو عبوری، x ضخامت جذب کننده و μ ضریب تضعیف خطی است که به جنس ماده جذب کننده و انرژی فوتون‌های فرودی بستگی دارد.



شکل(۱-۱) محاسبه شار با ضخامت معیین

اما در شرایط هندسی ضعیف، یعنی در حالتی که باریکه‌ای واگرا بر ماده جاذب ضخیم فرود آید، معادله (۱) ضخامت ماده را کمتر از مقدار لازم برآورد می‌کند چون در حل این معادله فرض شده که هر فوتونی که با حفاظ برهم‌کنش کند از باریکه خارج خواهد شد، در حالی که در شرایط ضعیف هندسی دیگر چنین فرضی معتبر نیست و ممکن است تعداد قابل توجهی از فوتون‌ها پس از پراکندگی‌های متعدد از جذب کننده (ماده) خارج شوند. ضخامت

حفاظ را در این شرایط می توان با تصحیح معادله (۱) از طریق استفاده از ضریب انباشت B [1] بگونه زیر:

$$I = BI(x) \qquad (۲)$$

در نتیجه داریم :

$$I = BI_0 e^{-\mu x} \qquad (۳)$$

ضریب انباشت همواره $B \geq 1$ است و بصورت نسبت شدت پرتوهای اولیه و پراکنده در هر نقطه از باریکه به شدت پرتوهای اولیه در همان نقطه تعریف می شود[۱،۲].

$$B = \frac{R(x)}{R'(x)} = \frac{\text{total detector response}}{\text{uncollided detector response}} \qquad (۶)$$

ضریب انباشت را با توجه به نوع پاسخ دستگاه آشکارساز پرتوهای گاما می‌توان در مورد شارتابشی، پرتوگیری تابشی و دز تابشی تعریف کرد. این ضرایب انباشت علاوه بر نوع پاسخ آشکارساز به شکل چشمه پرتوزا (نقطه ای یا صفحه ای)، به اندازه محیط جذب کننده (بی نهایت یا محدود بودن) انرژی اشعه گاما، فاصله تا آشکارساز و جنس محیط جذب کننده بستگی دارند. ضرایب انباشت در طراحی حفاظ لازم و برای چشمه‌های پرتوزا و راکتورهای هسته‌ای دارای اهمیت زیادی هستند، به لحاظ اهمیتی که این ضرایب دارند، کوشش‌های زیادی جهت اندازه گیری این ضرایب برای چند ماده مهم مورد استفاده در تکنولوژی هسته‌ای، صورت گرفته است، این ضرایب را اغلب با استفاده از سطح مقطع‌های مربوط به جذب و پراکندگی گاما محاسبه می کنند.

یکی از روش‌های مهم تعیین شار گاما در یک محیط استفاده از معادله ترابرد گاما و حل این معادله در محیط مورد نظر، با استفاده از سطح مقطع‌های برهم‌کنش گاما با عناصر تشکیل دهنده آن محیط است. معادله ترابرد را می‌توان به روش‌های مختلف حل کرد که از جمله

1) Buildup factors

مهمترین این روش‌ها می‌توان به روش ممان‌ها و روش طول‌های گسسته اشاره کرد[۱،۳]. روش ممان‌ها اغلب برای محیط‌های بی نهایت بکار می‌رود در حالی که برای محیط‌های محدود و دارای مرزهای مشخص و منظم از روش طول‌های گسسته استفاده می‌شود. در مسایلی که دارای مرزهای نامنظم هستند و مواد در آنها بطور نامنظم پخش شده‌اند می‌توان از روش شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده کرد، در روش مونت کارلو احتیاجی به حل معادله ترابرد نیست، تنها با دانستن روابط ریاضی حاکم بر انواع برهم‌کنش‌های گاما با محیط می‌توان گاما را در محیط دنبال و سرگذشت آنها را تعیین کرد. اصولا روش مونت کارلو روش کندی است و با تعداد زیادی رویداد می توان خطا را به حداقل رساند.

در این تحقیق با نوشتن یک برنامه کامپیوتری براساس روش مونت کارلو با در نظر گرفتن انواع برهم‌کنش‌های گاما با ماده و بکارگیری آخرین سطح مقطع‌های موجود در کد، ضرایب انباشت پرتوگیری برای چشمه‌های نقطه‌ای واقع در محیط‌های بی نهایت (کره ای با شعاع زیاد) از جنس آب محاسبه و ضمن مقایسه این ضرایب با نتایج حاصل از کارهای دیگران، اثر تابش ترمزی و تاثیر اندازه چشمه بر روی آنها مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت.

۱-۲ تاریخچه :

تاریخچه محاسبه ضرایب انباشت به زمان شناخت انواع برهم‌کنش‌های تابش با ماده از جمله برهم‌کنش گاما با ماده بر می‌گردد[۴،۵].با پیشرفت هر چه بیشتر دستگاههای آشکارساز پرداختن به این ضرایب بیشتر از پیش اهمیت پیدا کرد، چون تابش‌های هسته‌ای علاوه بر مصارف صنعتی مختلف، کاربردهای پزشکی وسیعی پیدا کرده‌اند، لذا محاسبه دقیق بر روی ذرات تابشی و در نتیجه آن دز تابشی، بسیار حیاتی و ضروری است. در بین ذرات تابشی، پرتو گاما بدلیل خنثی بودن دارای قدرت نفوذ زیادی در مواد است و بناچار مطالعه بر روی آن

ضروری است. بنابراین با توجه به برهم‌کنش‌های مختلف که پرتو گاما با محیط اطراف انجام می دهد در صورتی که نکات ایمنی و حفاظتی رعایت نشود، اثرات زیان آوری را به همراه دارد لذا باید به حفاظ‌گذاری مناسب در اطراف چشمه تابش توجه زیادی داشته باشیم و موارد دیگری چون به حداقل رساندن پرتوگیری افراد و همچنین به حداکثر رساندن فاصله از چشمه تابش را نیز رعایت کنیم.

۱-۳ هدف:

در این تحقیق ضمن بررسی و شناخت ویژگی‌های تابش گاما و انواع برهم‌کنش آن با ماده و آشنایی با آشکارسازی تابش‌های هسته ای به محاسبه ضرایب انباشت با استفاده از کدMCNP همچنین به معرفی روش مونت کارلو و کاربرد آن در ترابرد ذرات می پردازیم. در ادامه، محاسبات انجام شده را با داده‌های تجربی و روش‌های دیگر مقایسه می‌کنیم .

۱-۴ کاربردها:

ضرایب انباشت درطراحی حفاظ مناسب برای چشمه‌های پرتوزا و راکتورهای هسته‌ای دارای اهمیت زیادی هستند و در محاسبات دز جذبی تابش‌های پرتوزا در بافت‌های مختلف بدن کاربرد گسترده‌ایی دارند. به لحاظ اهمیتی که این ضرایب دارند، کوشش‌های زیادی جهت اندازه‌گیری این ضرایب برای چند ماده مهم مورد استفاده در تکنولوژی هسته‌ای، صورت گرفته است [۶].

ازآنجا که تعیین مقادیر دقیق ضرایب انباشت از طریق آزمایش در همه موارد کار آسانی نیست این ضرایب را اغلب با استفاده از سطح مقطع‌های مربوط به جذب و پراکندگی گاما محاسبه می‌کنند. گروه‌های مختلف تحقیقاتی با استفاده از روش‌های گوناگون محاسباتی با

نوشتن برنامه‌های کامپیوتری بزرگ ضرایب انباشت را برای مواد مختلف در انرژی‌های مختلف پرتو گاما محاسبه و بصورت جدول‌هایی ارائه کرده اند[۷،۸،۹،۱۰،۱۱].

فصل دوم

مروری بر تابش ها و آشکارسازهای هسته ای

۲-۱ چشمه‌های تابشی

۲-۱-۱ چشمه‌های نوترون

سه چشمه اصلی نوترون قابل دسترس وجود دارد[۱۲،۱۳].

الف) راکتورهای هسته‌ای تحقیقاتی

ب) شتابدهنده‌های یون و الکترون، شامل مولدهای نوترون.

ج) چشمه‌های رادیواکتیو CF^{252}.

راکتورهای هسته‌ای تحقیقاتی دارای بالاترین شار نوترونی بوده ولی از نظر محل کاربرد، هزینه و قابلیت دسترسی محدود می‌باشند. در نتیجه رآکتورهای هسته‌ای تنها برای آنالیز با فعال‌سازی نوترونی مقادیر بسیارکم یا برای رادیوگرافی حساس نوترونی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما زمانی که پرتودهی در محل جسم باشد، از مولدهای نوترونی یا چشمه‌های رادیواکتیو استفاده می‌شود.

الف) راکتورهای هسته‌ای تحقیقاتی:

راکتورهای هسته‌ای تحقیقاتی معمولاً تجهیزات بزرگی هستند که در آنها مادهٔ شکافت‌پذیر (U^{235}) به دو نوکلید شکافته شده و به طور همزمان نوترون‌هائی نیز ساطع می‌شوند که این امر موجب شکافت‌های بیشتر در یک واکنش زنجیره‌ای خواهد شد. نوترون‌های حاصل از شکافت انرژی زیادی دارند، سطح مقطع شکافت القایی نوترونی در نوکلیدهای شکافت‌پذیر با کاهش انرژی نوترون‌ها افزایش یافته و لذا برای افزایش اکتیویته نوترون در راکتور، از کندکننده‌هایی که نوترون‌ها را کند می‌کنند استفاده می‌گردد و برای بازتابش مجدد بعضی از نوترون‌ها که از قلب راکتورها نشت می‌یابند، از بازتابنده‌ها استفاده می‌شود. فرایند شکافت مقدار زیادی انرژی رها می‌کند که اساساً در اثر توقف دو پاره شکافت پس زده، ایجاد گردیده و

سیستم به وسیلهٔ خنک کننده‌ای (مایع یا گاز) خنک می‌گردد. راکتورهای هسته ای را با توجه به نوع سوخت، کند کننده، خنک کننده، بازتاباننده و آرایه آنها تقسیم بندی می‌نمایند. تقریبا در تمام راکتورهای هسته‌ای تحقیقاتی، سوخت به شکل میله ای و از U^{235} می باشد.

تعداد زیادی از راکتورها دارای میله‌های سوخت با آلیاژ U-AL هستندو در بعضی Si-U به کار رفته - راکتورهای TRIGA با سوخت Zr-U کار می‌کنند. در راکتور آب سبک، از آب معمولی H_2O هم به عنوان کند کننده و هم به عنوان خنک کننده استفاده می‌شود. در این نوع راکتورها بازتاباننده اساساً گرافیت است. معمولاً نوترونها با توجه به انرژی که دارند به سه گروه تقسیم می‌شوند:

۱) نوترون های با انرژی حدود KT=0/025eV (نوترون‌های حرارتی)

۲) نوترون های با انرژی بالاتر از 0/5eV – 1MeV (نوترونهای فوق حرارتی)

۳) نوترون های با انرژی بالاتر از 1MeV (نوترونهای سریع)

TRIGA: نوع تجارتی یک راکتور آمریکایی چند منظوره مشهور تحقیقاتی می‌باشد. در حدود ۵۰ راکتور از این نوع با توانهای 8kW-3MW و با شارهای $3\times10^{17} - 7\times10^{15}\ \frac{n}{m^2\ s}$ در حال کار هستند. در این نوع راکتورها بازتابنده گرافیت و سوخت هیدرید اورانیوم – زیرکونیوم می‌باشد.

Slowpoke: دارای توان پایین (90kW) و مخصوص کارهای آموزشی، طراحی شده ولی اهدافی از قبیل آنالیز به طریق فعال‌سازی و تولید مقادیر کمی از رادیوایزوتوپها نیز با آن قابل اجراست. در راکتورهای تحقیقاتی آب سنگین که معمولاً با سوخت اورانیوم غنی شده کار می کنند، آب سنگین به عنوان خنک کننده و همچنین کند کننده و گرافیت به عنوان بازتابنده بکار می روند. به خاطر پایین بودن سطح مقطع جذب نوترون حرارتی بوسیله D (دوترون) و O این راکتورها از شار نوترون حرارتی بالایی برخوردار هستند. به واسطه پایین‌تر بودن قدرت

کندکنندگی D در مقایسه با H اندازه فیزیکی راکتورهای آب سنگین بزرگتر بوده و لذا این راکتورها دارای فضای بزرگتری برای پرتودهی می‌باشند و قدرت آنها معمولاً بین 10-26 MW با شارهای $2\times10^{18}\ \frac{n}{m^2\ s}$ می‌باشد.

ب) نوترون های حاصل از شتابدهنده‌ها و مولدهای نوترون:

شتابدهنده‌های ذرات باردار می‌توانند بوسیله واکنش‌های (d,n)، (p,n) یا (α,n) شارهای نوترونی تولید کنند. دستگاه‌های شتابدهنده الکترون می‌توانند از طریق واکنش‌های (γ,n) که در آن شار گاما در نتیجه متوقف شدن الکترون‌ها در یک ماده با Z بالا حاصل می‌گردد، تولید شار نوترون نمایند.

ج) چشمه های رادیواکتیو نوترون:

چشمه‌های رادیواکتیو نوترون یا دارای رادیو نوکلید ساطع کننده ذرات α یا اشعه γ همراه با یک ماده برهم‌کنشی مناسب بوده یا یک رادیو نوکلئد با شکافت خود بخودی (^{252}CF) هستند. چشمه‌های گاما به وسیله بریلیوم یا دوترون احاطه شده‌اند و نوترون‌ها به وسیله واکنش (γ,n) ساطع می‌گردند.

$$\gamma+{}^{9}Be \rightarrow 2\alpha + n + 1.67MeV$$
$$\gamma + D \rightarrow H + n + 2.23MeV \qquad (1)$$

تعداد محدودی از رادیونوکلیدها با نیمه عمر معقول، پرتوهای گاما چنین انرژی بالایی ساطع می‌کنند به همین دلیل همراه با شکل برد بلند اشعه گاما کاربرد چنین چشمه‌های نوترونی بسیار محدود است. معمول‌ترین چشمه نوترون فوتونی به کار رفته $^{124}Sb-Be$ از پرتودهی آنتیموان طبیعی در راکتور حاصل می‌گردد. چشمه نوترونی دارای دو قسمت است،

قلب (کره یا استوانه) ساخته شده از فلز آنتیموان پرتو دیده، و لایه‌ای از فلز بریلیوم با ضخامت حدود ۲cm . بسیاری از چشمه‌های نوترونی از برهم‌کنش α با ^{9}Be استفاده می‌کنند طیف این نوترونها تا MeV ۱۰ الی MeV ۱۲گسترده است.

$$^{9}Be + \alpha \rightarrow ^{12}c + n + 5.91MeV \qquad (۲)$$

چشمه اصلی مورد استفاده در شکافت خود به خودی ^{۲۵۲}CF است.

نیمه عمر برای یک شکافت خودبخودی ۸۵/۵ سال و برای گسیل آلفا ۲/۷۳ سال است. نیمه عمر مؤثر ۲/۶۵ سال می‌باشد.

$$\frac{1}{t_{eff}} = \frac{1}{t_{\alpha}} + \frac{1}{t_{sf}} \qquad (۳)$$

چشمه‌های ^{252}Cf بسیار متراکم است. برای افزایش شار نوترون‌ها، احاطه کردن ^{257}Cf با ^{235}U ارزانتر از به کار بردن مقدار زیادی از ^{252}Cf است. که به تکثیر کننده‌های نوترونی معروف هستند.

۲-۲ تابش های هسته‌ای

نفوذ تابش‌های یون‌ساز در ماده برای فیزیک هسته‌ای از روزهای نخستین، از سودمندی نظری و از اهمیت علمی زیادی برخوردار بوده است. طبقه‌بندی تابش‌های مواد پرتوزا به شکل پرتوهای α و β و γ بر اساس سهولت کاهش شدت آنها در مواد جاذب بوده است. تقسیم بندی انواع مختلف تابش به دو گروه مناسب منجر می‌شود:

۱- تابش ذرات باردار شامل پروتون با انرژی بالا، ذرات آلفا، الکترون‌های سریع، ذرات بتا و پاره‌های شکافت با بار زیاد.

۲- تابش‌های بدون بار شامل اشعه γ - X و نوترون‌ها، این دو گروه از تابش از چند نظر متفاوت هستند که مهم‌ترین آنها میزان عمق نفوذ در ماده است.