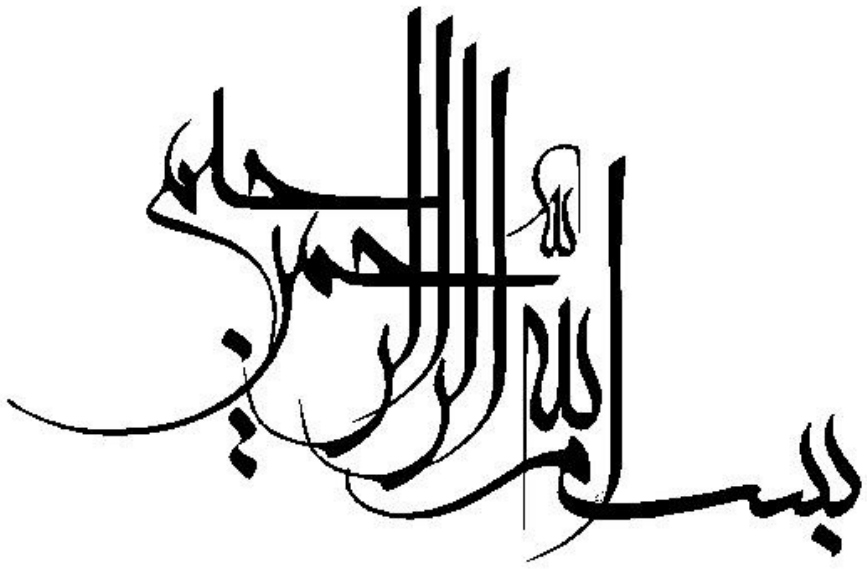
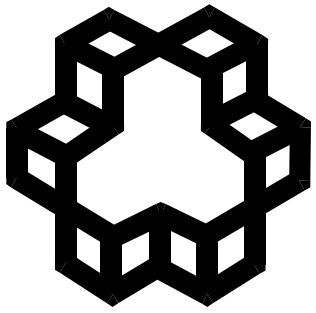

بسم الله الرحمن الرحیم



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته فیزیک گرایش هسته‌ای کاربردی

شبیه‌سازی ردیابی مین‌های زمینی با استفاده از گیراندازی نوترون حرارتی در کد MCNP4C

دانشجو:
لیلی عبدالهی

استاد راهنما:
دکتر سید فرهاد مسعودی

بهمن ۱۳۸۹

تقدیم به :

پدر و مادرم که در تمام لحظه‌های زندگیم پشتیبان من بودند

تشکر و قدردانی :

از راهنمایی‌ها و زحمات بی‌دریغ استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر سید فرهاد مسعودی که در یادگیری روش تحقیق و ارائه این پایان‌نامه با صبر و شکیبایی مرا یاری کردند قدردانی و سپاسگذاری می‌کنم و آرزوی سلامتی و سعادت برای ایشان دارم.

چکیده

با توجه به اینکه آشکارسازی مین‌های زمینی با استفاده از روش‌های کلاسیکی از جمله آشکارسازهای فلزی خطرناک است و از طرفی زمان لازم برای آشکارسازی زیاد است استفاده از روش‌های هسته‌ای برای آشکارسازی بسیار مفید خواهد بود. در این پروژه از میان چندین روش هسته‌ای روش گیراندازی نوترون حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش فوتون‌های ۱۰/۸۲۹ MeV حاصل از واکنش $^{4}N(n,\gamma)^{15}N$ توسط آشکارساز فوتون مناسب اندازه‌گیری شده و عوامل موثر روی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این رساله سیستم مورد نظر در کد MCNP4C شبیه‌سازی شده و با بررسی هندسه‌ها و پارامترهای مختلف، بهترین هندسه که منجر به افزایش شار فوتون رسیده به آشکارساز می‌شود معرفی شده است.

کلمات کلیدی: آشکارسازی مین‌های زمینی، گیراندازی نوترون حرارتی، شبیه‌سازی مونت کارلو

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اول : تئوری آشکارسازی مین‌های زمینی

۱-۱. فرایند آشکارسازی مین‌های زمینی ۴

۱-۱-۱. رایج‌ترین روش‌های آشکارسازی مین‌های زمینی ۴

۱-۱-۲. واکنش نوترون با عناصر مین ۵

۱-۲. معرفی پارامترهای مورد نیاز ۸

۱-۲-۱. آشکارساز ۸

۱-۲-۲. چشمه‌های نوترون ۹

۱-۲-۳. حفاظ آشکارساز و چشمه ۱۰

۱-۲-۴. کندساز ۱۱

فصل دوم : کد MCNP

۲-۱. کد MCNP و روش مونت کارلو ۱۵

۲-۱-۱. مبانی روش مونت کارلو ۱۵

۲-۱-۲. مراحل مختلف در ترابرد پرتوها با روش مونت کارلو ۱۶

۲-۱-۳. کد MCNP ۱۷

۲-۱-۳-۱. ساختار فایل ورودی کد MCNP ۱۸
۲-۱-۳-۱. تعریف هندسه مسئله ۱۹
۲-۱-۳-۱-۱. تعریف سطوح ۱۹
۲-۱-۳-۱-۲. تعریف سلول ۱۹
۲-۱-۳-۲-۳. معرفی نوع ذره چشمه ۲۰
۲-۱-۳-۲-۴. معرفی چشمه ۲۲
۲-۱-۳-۲-۵. معرفی ماده ۲۸
۲-۱-۳-۲-۶. تعریف اهمیت نواحی در کد ۲۸
۲-۱-۳-۲-۷. معرفی خروجی ۲۹
۲-۱-۳-۲-۸. معرفی مدت زمان اجرای برنامه یا تعداد ذرات ۳۰

فصل سوم : شبیه‌سازی و بررسی نتایج

۳-۱. شبیه‌سازی سیستم ردیابی مین‌های زمینی در کد و بررسی نتایج..... ۳۳
۳-۱-۱. ترکیب‌بندی مجموعه در حضور یک، دو، سه و چهار چشمه ۳۳
۳-۱-۱-۱. بررسی اثر رطوبت در هندسه تک چشمه ۳۶
۳-۱-۱-۲. بررسی اثر افزایش و نحوه قرار گیری چشمه‌ها و موقعیت مین.... ۳۷
۳-۱-۲. ترکیب‌بندی مجموعه در حضور ۴ آشکارساز برای هندسه تک چشمه ...۵۲
۳-۱-۳. ترکیب‌بندی مجموعه در حضور تکثیر کننده نوترون ۵۴
۳-۱-۴. نتیجه‌گیری ۵۷

فهرست شکل‌ها

فصل اول

شکل ۱-۱. سطح مقطع گیراندازی نوترون حرارتی در ^{14}N ۷

شکل ۱-۲. سطح مقطع گیراندازی نوترون حرارتی در ^{29}Si ۸

شکل۱-۳. طیف نوترون چشمه $^{241}Am - Be$ ۱۰

فصل سوم

شکل ۳-۱. نمای افقی هندسه استفاده شده درمحاسبات برای حالت تک چشمه ۳۴

شکل ۳-۲. ترکیبات مختلف اجرا شده برای هندسه دو چشمه..... ۳۸

شکل ۳-۳. ترکیبات مختلف اجرا شده برای هندسه سه چشمه ۴۳

شکل ۳-۴. ترکیبات مختلف اجرا شده برای هندسه چهار چشمه ۴۴

شکل۳-۵. طیف اشعه گامای حاصل از خاک و تی ان تی برای بهترین ترکیب هندسه سه چشمه در حضور مین

..... ۴۸

شکل۳-۶. طیف زمینه برای بهترین ترکیب هندسه سه چشمه ۴۹

شکل۳-۷. شار مربوط به ۱، ۲، ۳ و ۴ چشمه برای بهترین حالت‌ها ۵۰

شکل ۳-۸. موقعیت‌های مختلف مین ۵۱

شکل۳-۹. برش عمودی هندسه چهار دتکتور در کد ۵۲

شکل ۳-۱۰. محل قرار گیری آشکارسازها در هندسه چهار دتکتور ۵۳

شکل۳-۱۱. برش عمودی هندسه تکثیرکننده نوترون در حضور آلومینیم در کد ۵۵

فهرست جدول‌ها

فصل اول

جدول۱-۱. خواص کندسازی مواد ۱۳

فصل دوم

جدول ۲-۱. سطوح تعریف شده در MCNP ۲۱

جدول ۲-۲. دستورات تعریف شده برای اجسام بزرگ در MCNP ۲۲

جدول ۲-۳. متغییرهای چشمه ۲۷

فصل سوم

جدول ۳-۱. شار حاصل از تک چشمه با ردیابی تعداد ذرات مختلف ۳۵

جدول۳-۲. دانسیته خاک برای رطوبت‌های مختلف ۳۶

جدول۳-۳. شار فوتون درانرژی ۱۰/۸۲۹ MeV در خاک مرطوب ۳۷

جدول ۳-۴. شار فوتون برای ترکیب‌بندی‌های مختلف هندسه دو چشمه در حالت قرارگیری مین در مرکز خاک با خلا ۳۹

جدول ۳-۵. شار فوتون برای ترکیب‌بندی‌های مختلف هندسه دو چشمه در حالت قرارگیری مین در مرکز خاک با هوا ۴۰

جدول ۳-۶. شار فوتون برای ترکیب‌بندی‌های مختلف هندسه سه چشمه در حالت قرارگیری مین در مرکز خاک با خلا ۴۵

جدول ۳-۷. شار فوتون برای ترکیب‌بندی‌های مختلف هندسه چهار چشمه در حالت قرارگیری مین در مرکز خاک با خلا ۴۷

جدول ۳-۸. شار فوتون برای هندسه ۱ و ۴ چشمه در بهترین حالت در موقعیت‌های مختلف مین ۵۱

جدول ۳-۹. شار حاصل از تک چشمه چهار آشکارساز ۵۳

جدول ۳-۱۰. شار فوتون بر حسب ضخامت‌های مختلف اورانیم ۵۶

مقدمه

امروزه تخمین زده شده است که حدود ۱۱۰ میلیون مین زمینی فعال در کشورهای مختلف وجود دارد و سالانه بیش از ۲۵۰۰ نفر در اثر آن‌ها کشته یا معلول می‌شوند [۱]. در قسمت جنوب غربی کشور ایران نیز هزاران مین زمینی در طول هشت سال جنگ با کشور عراق کارگذاشته شده بود که تعداد زیادی از مردم در اثر آن‌ها دچار مشکل شدند. روش‌های کلاسیکی آشکارسازی مین‌های زمینی از جمله آشکارسازهای فلزی علاوه بر زمان زیاد آشکارسازی، گران و خطرناک هستند، ازاین رو در این زمینه استفاده از روش‌های بهتری مورد نیاز است. با توجه به اینکه روش‌های هسته‌ای زمان کمتری برای آشکارسازی لازم دارند و نیز خطرات حاصل از برخورد فیزیکی با زمین در این روش‌ها وجود ندارد تحقیق در مورد آشکارسازی مین‌های زمینی یکی از جالبترین و ارزشمندترین کاربردهای تکنیک‌های هسته‌ای خواهد بود.

بررسی روش‌های هسته‌ای در آشکارسازی مین‌های زمینی از سال ۱۹۵۰ توسط کالمن و مولر[1] در مرکز تحقیقات ارتش آمریکا آغاز شد [۲]. در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای این منظور توسط محققان پیشنهاد شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به طیف‌سنجی تشدید چهارقطبی هسته‌ای نیتروژن[2] ، پراکندگی اشعه ایکس، گرمایش اشعه مادون قرمز از سطح خاک، استفاده از نوترون‌های پالسی و روش آگوستیک غیر خطی[3] اشاره کرد [۱۰-۳]. اما رایج‌ترین روش‌هایی که به طور تجربی و یا شبیه‌سازی با استفاده از کدهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند دو روش گیراندازی و پراکندگی نوترون هستند و گاهی ترکیبی از این دو روش برای آشکارسازی مفید بوده است [۱۱].

در پروژه حاضر از روش گیراندازی نوترون حرارتی استفاده شده است. در روش اخیر نوترون‌های سریع تولید شده از چشمه نوترون تحت شرایطی به نوترون حرارتی تبدیل شده و در اثر واکنش با عناصر تی‌ان‌تی، اشعه گاما

[1] Coleman and Moler
[2] NQR Spectroscopy of N Nuclei
[3] Nonlinear Acoustic Technique

تولید می‌شود. فوتون ۱۰/۸۲۹ MeV که در اثر گیراندازی نوترون حرارتی در نیتروژن موجود در تی‌ان‌تی به وجود می‌آید نشان دهنده وجود مین در زمین است. این فوتون توسط آشکارساز یدور سدیم آشکارسازی می-شود.

تنها پیک موثر بر فوتون ۱۰/۸۲۹ MeV، فوتون ۱۰/۶۰۷ MeV حاصل از گیراندازی نوترون حرارتی در Si است، به دلیل نزدیکی این دو پیک و هم‌پوشانی آن‌ها محاسبه دقیق سطح زیر منحنی مربوط به پیک ۱۰/۸۲۹ به آسانی انجام نمی‌شود. هدف از انجام این پروژه بررسی شرایط موثر بر شار فوتون نهایی و معرفی بهترین هندسه که منجر به افزایش شار فوتون ۱۰/۸۲۹ Mev و کمتر کردن هم‌پوشانی می‌شود، است.

آنچه که در فصل‌های این رساله بررسی می‌شود به قرار زیر است :

در فصل اول ضمن توضیح تئوری آشکارسازی مین‌های زمینی با استفاده از روش‌های هسته‌ای به بیان پارامتر-های موثر در آشکارسازی پرداخته‌ایم.

فصل دوم شامل توضیحاتی در رابطه با کد محاسباتی استفاده شده در این پروژه (MCNP4C) است و در فصل آخر هندسه‌های شبیه‌سازی شده در کد به همراه خروجی‌های مربوطه آمده است و با بحث روی نتایج بهترین هندسه معرفی شده است.

فصل اول

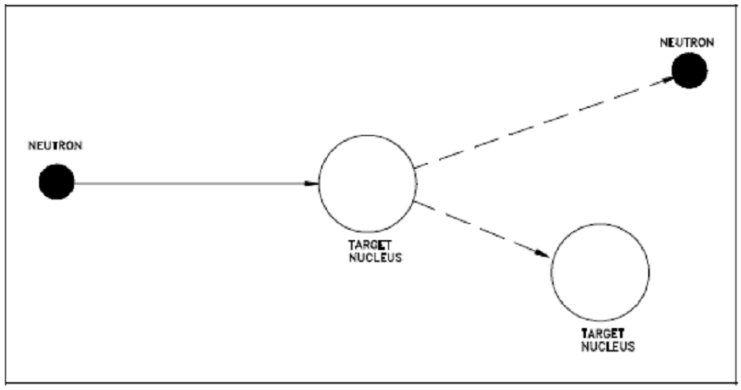
تئوری آشکارسازی مین‌های زمینی

۱-۱. اندرکنش نوترون با ماده

اندرکنش‌های نوترون با ماده به دو صورت انجام می‌شود :

۱. پراکندگی : واکنش پراکندگی نوترون وقتی اتفاق می‌افتد که پس از برخورد نوترون با هسته یک نوترون گسیل شود. این واکنش به دو صورت پراکندگی کشسان[1] و غیرکشسان[2] انجام می‌شود.

در پراکندگی کشسان، اندازه حرکت و انرژی جنبشی سیستم قبل و بعد از برخورد پایسته می‌ماند. اگرچه معمولا مقداری از انرژی جنبشی نوترون به هسته هدف منتقل می‌شود. (شکل ۱-۱)



شکل ۱-۱. پراکندگی کشسان

پراکندگی کشسان نوترون توسط هسته‌ها به دو صورت می‌تواند اتفاق بیفتد که یا با جذب نوترون و تشکیل هسته مرکب ویا توسط واکنش‌های مستقیم این عمل انجام می‌شود.

[1] Elastic Scattering
[2] Inelastic Scattering

در واکنش تشکیل هسته مرکب، نوترون تابیده با هسته هدف ترکیب می‌شود و در نتیجه هسته مرکبی با عمر نسبتا طولانی (در حدود$۱۰^{-۷}$ثانیه) تشکیل می‌گردد. انرژی تحریکی این هسته مرکب برابر با مجموع انرژی جنبشی و انرژی هم‌بستگی نوترون جذب شده است. تجزیه هسته مرکب به راه‌های مختلف امکان دارد، مثلا ممکن است یک نوترون با انرژی‌ای برابر با انرژی نوترون اولیه که توسط هسته جذب شده است، ازهسته مرکب خارج شود این عمل را پراکندگی کشسان مرکب[۱] می‌نامند و در مواقعی که سطح مقطع در ناحیه رزونانس باشد پراکندگی رزونانس[۲] نامیده می‌شود. در حالتی که برخورد نوترون با هسته هدف در سیستم مرکز ثقل انجام شود، پس از برخورد هیچ تغییری در انرژی نوترون ایجاد نمی‌شود در این حالت عمل فوق را برخورد کشسان می‌نامند. هسته مرکب نیز می‌تواند با تابش یک یا چند فوتون گاما انرژی تحریکی خود را از دست بدهد. این پدیده را پدیده جذب پرتوزا [۳] یا واکنش (n,γ) می‌نامند. در این پدیده غالبا هسته‌ای که در اثر تجزیه هسته مرکب تولید شده است، ناپایدار بوده و از خود β تابش می‌کند.

در واکنش‌های مستقیم، واکنش‌های هسته‌ای می‌توانند مستقیما بدون تشکیل هسته مرکب انجام شوند. برای نوترون‌هایی که انرژی آن‌ها در فاصله انرژی معینی قرار دارند مهم‌ترین واکنش، پراکندگی کشسان مستقیم[۴] است. پراکندگی کشسان مستقیم را غالبا پراکندگی پتانسیل می-

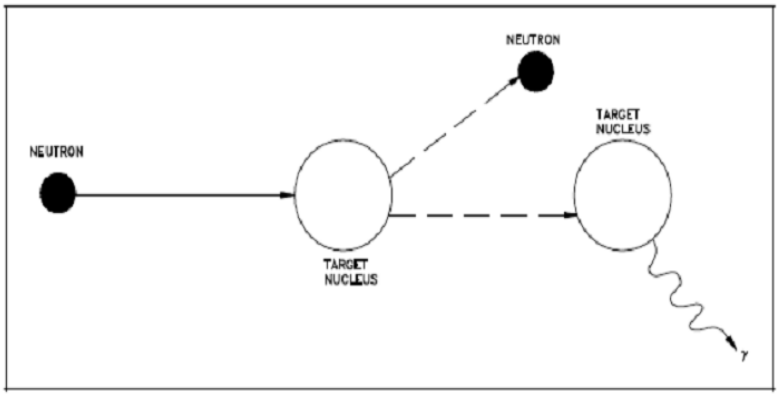
[1] Compound Elastic Scattering
[2] Resonance Scattering
[3] Radiative Capture
[4] Direct Elastic Scattering

نامند[1] زیرا انحراف نوترون تابیده در اثر پتانسیل واقعی هسته انجام می‌گیرد که این پتانسیل هسته، مقدار متوسط اثرات متقابل ذرات هسته‌ای[2] را نشان می‌دهد.

به طور کلی پراکندگی کشسان مستقیم همیشه می‌تواند اتفاق بیفتد. در حالی که تشکیل هسته مرکب فقط یک واکنش رزونانس است. به عبارت دیگر هسته مرکب تنها وقتی تشکیل می‌شود که مجموع انرژیهای بستگی وجنبشی نوترون با یک حالت تحریک شده هسته مرکب مطابقت کند. به این دلیل است که سطح مقطع هسته‌ها برای حالتی که پراکندگی کشسان مستقیم اتفاق می افتد از یک سطح مقطع با تغییرات کند، و برای واکنشهایی که منجر به تولید هسته مرکب می‌شوند از یک سطح مقطع با رزونانس تیز، ترکیب شده است.

در پراکندگی غیرکشسان، نوترون تابشی توسط هسته هدف جذب شده و هسته مرکب تشکیل می‌شود که هسته مرکب نوترونی با انرژی جنبشی‌ای کمتر از انرژی نوترونی که هسته اصلی را در حالت برانگیخته ترک می‌کند گسیل می‌کند. هسته‌ها معمولا با گسیل اشعه گاما به حالت پایه برمی‌گردند. در این واکنش جمع انرژی جنبشی نوترون و هسته هدف و اشعه گامای گسیل شده با انرژی جنبشی نوترون تابشی برابر است. (شکل ۱-۲)

[1] Potential Scattering
[2] Nucleon



شکل ۱-۲. پراکندگی غیرکشسان

در حالت‌هایی که انرژی تحریکی هسته مرکب خیلی زیاد است، هسته مرکب می‌تواند ذرات باردار و یا حتی دو نوترون تابش کند، مانند واکنشهای (n , α) و (n , np) و (n ,۲n). در مواردی که انرژی جنبشی نوترون ساطع شده از هسته مرکب کمتر از انرژی جنبشی نوترون اولیه است، هسته باقی مانده[1] در حالت تحریک می‌ماند. این هسته انرژی تحریکی خود را به صورت اشعه گاما تابش می‌کند.

۲. جذب : در واکنش جذب نوترون، با از دست دادن یک نوترون یک ذره باردار یا اشعه گاما به وجود می‌آید. گیراندازی تابشی، بیرون‌رانی ذره و شکافت به عنوان واکنشهای جذب مطرح می-شوند.

[1] Residual Nucleus

در گیراندازی تابشی، نوترون وارد هسته هدف شده و یک هسته مرکب تشکیل می‌دهد و هسته هدف با گسیل اشعه گاما به حالت پایه برمی‌گردد. یک مثال از واکنش گیراندازی تابشی در زیر نشان داده شده است :

$$n + {}^{238}U \rightarrow {}^{239}U^{*} \rightarrow {}^{239}U + \gamma$$

در واکنش بیرون‌رانی ذره، نوترون وارد هسته شده و یک هسته مرکب تشکیل می‌شود و در حالی که نوترون تابشی در هسته باقی می‌ماند یک ذره جدید مثل آلفا یا پروتون تولید می‌کند. بعد از تولید ذره هسته ممکن است در حالت بر انگیخته باشد یا نباشد که این به تعادل انرژی - جرم واکنش وابسته است. یک مثال از واکنش بیرون‌رانی ذره در زیر نشان داده شده است :

$$n + {}^{10}B \rightarrow {}^{11}B^{*} \rightarrow {}^{7}Li + \alpha$$

شکافت یکی از مهم‌ترین اندرکنش‌هایی است که نوترون تولید می‌کند. در این عمل هسته هدف سنگین با جذب نوترون به دو پاره بزرگ با اندازه یکسان به اضافه چند نوترون شکافته می‌شود. یک مثال از واکنش‌های شکافت در زیر نشان داده شده است :

$$n + {}^{235}U \rightarrow {}^{236}U^{*} \rightarrow {}^{140}Cs + {}^{93}Rb + 3\,n$$

۱-۲. رده‌بندی واکنش‌های نوترونی

نوترون‌ها بر حسب انرژی جنبشی آن‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

گروه اول نوترون‌های کند[1]هستند که به نوترون‌هایی گفته می‌شود که انرژی جنبشی آن‌ها کمتر از ۱۰۰۰ ev است. گروه دوم نوترون‌هایی با انرژی متوسط[2] هستند که انرژی آن‌ها بین ۱ Kev تا ۵۰۰ Kev می باشد و گروه سوم نوترون‌های سریع[3] هستند که انرژی آن‌ها بین ۰/۵ Mev تا ۲۰ Mev می‌باشد. در راکتورهای هسته‌ای نوترون‌هایی با انرژی بیش از Mev ۲۰ یافت نمی‌شود.

۱-۳. چشمه‌های نوترون

۱-۳-۱. تولید نوترون به وسیله واکنش‌های هسته‌ای

تعدادی واکنش‌های هسته‌ای هستند که در آن‌ها نوترون تولید می‌شود. این امر نیاز به یک شتابدهنده برای ایجاد باریکه‌ای از ذرات دارد تا واکنش را آغاز کنند و لذا استفاده از آن‌ها به آسانی کاربرد واپاشی پرتوزای چشمه‌ها نیست. با این حال، با انتخاب دقیق انرژی تابشی و زاویه-ای که در آن نوترون گسیل شده را مشاهده می‌کنیم، غالبا می‌توان باریکه تک انرژی قابل قبولی را برای هر انرژی به دست آورد.

نوترون‌های آزاد به علت کوتاه بودن نیمه عمرشان در طبیعت وجود ندارند و باید به طور مصنوعی تولید شوند. یک روش ساده برای تولید نوترون، جدا کردن آن از هسته‌هایی است که انرژی بستگی نوترون در آن هسته‌ها کم است. واکنش‌های متفاوتی برای تولید نوترون وجود دارد. در چنین واکنش‌هایی، هسته مرکب تحریک شده‌ای در اثر بمباران هسته هدف با ذراتی

[1] Slow Neutron
[2] Intermediate - Energy Neutron
[3] Fast Neutron