دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

آنالیز درصد حضور نمک های کلردار موجود در بتن به روش فعال سازی با نوترون

ارائه شده جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد فیزیک هسته ای

اساتید راهنما:

دکتر رضا ایزدی نجف آبادی

دکتر سیدهاشم میری حکیم آبادی

نگارش:

سیدجواد حسینی

دی ماه ۱۳۸۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: روش فعال سازی با نوترون (Neutron Activation)

چکیده

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ روش DGNAA ۲

۱-۳ روش PGNAA ۲

۱-۴ کاربرد روش PGNAA ۳

۱-۴-۱ تعیین عناصر سمی ۳

۱-۴-۲ میزان آلودگی های نفتی آب ۳

۱-۴-۳ سازوکار رشد گیاهان ۳

۱-۴-۴ کاربردهای صنعتی ۴

۱-۴-۵ تشخیص برخی از عناصر در موجود زنده ۴

۱-۴-۶ تعیین عناصر موجود در مواد مختلف ۴

۱-۵ برتری های تحلیل PGNAA ۵

۱-۶ معایب عمده PGNAA ۵

۱-۷ انواع چشمه ۶

۱-۷-۱ چشمه آلفا- نوترون ۶

۱-۷-۲ چشمه فوتو نوترون ۸

۱-۷-۳ چشمه های حاصل از شکافت خود به خودی ۹

۱-۷-۴ چشمه راکتور ۱۰

۱-۷-۵ چشمه الکترون نوترون ۱۰

۱-۷-۶ چشمه حاصل از واکنش های هسته ای ۱۱

۱-۷-۷ مقایسه چشمه Cf و Am-Be ۱۱

۱-۸ آشکارساز سوسوزن NaI(TI) ۱۲
۱-۸-۱ برتریها و معایب آشکارساز NaI(TI) ۱۳
۱-۸-۲ تابع پاسخ آشکارساز NaI(TI) ۱۴

فصل دوم: روش محاسباتی

۲-۱ معرفی نرم افزار MCNP ۱۵
۲-۲ هندسه در MCNP ۱۶
۲-۳ کارت سلول ۱۶
۲-۴ کارت سطوح ۱۶
۲-۵ کارت های داده ۱۷

فصل سوم: برنامه های محاسباتی و مقایسه با طیف های تجربی

۳-۱ مقدمه ۱۸
۳-۲ آشنایی با قسمت های مختلف دستگاه آزمایش ۱۹
۳-۲-۱ چشمه ۲۰
۳-۲-۲ کندکننده ۲۰
۳-۲-۳ پوسته سرب ۲۰
۳-۲-۴ نمونه ۲۱
۳-۲-۵ آشکارساز سوسوزن NaI(TI) ۲۳
۳-۳ تعیین انرژی های گیراندازی گامای کلر ۲۳
۳-۴ مشاهده پیک های انرژی گامای کلر برای یک نمونه کروی ۲۴
۳-۵ مقایسه دو طیف اندازه گیری شده برای نمونه کروی ۲۵
۳-۶ طیف گامای آنی کلر ۱٪ وزنی موجود در نمونه سیمان ۲۶
۳-۷ طیف گامای آنی کلر ۲٪ وزنی موجود در نمونه سیمان ۲۷

۳-۸ طیف گامای آنی کلر ۳٪ وزنی موجود در نمونه سیمان..... ۲۸
۳-۹ مقایسه ۳ طیف های گامای آنی اندازه گیری شده کلـر ۱٪ ، ۲٪، ۳٪ وزنـی موجـود در نمونـه سیمان..... ۲۸
۳-۱۰ انجام آزمایش به صورت تجربی ۳۱
۳-۱۱ مدرج کردن دستگاه برحسب انرژی..... ۳۵
۳-۱۲ مشاهده طیف گامای آنی کلر ۱٪ وزنی کلر موجود در نمونه سیمان ۳۶
۳-۱۳ مشاهده طیف گامای آنی کلر ۲٪ وزنی کلر موجود در نمونه سیمان ۳۸
۳-۱۴ مشاهده طیف گامای آنی کلر ۳٪ وزنی کلر موجود در نمونه سیمان ۳۸
۳-۱۵ محاسبه مساحت سطح زیر نمودار ۳۹
۳-۱۶ نتیجه ۴۰
۳-۱۷ پیشنهاد..... ۴۰

چکیده

سیمان گردی است نرم و جاذب آب و چسباننده خرده سنگ که اساساً مرکب است از ترکیبات پخته شده و گداخته شده. در ترکیبات سیمان مقداری کلر وجود دارد که باعث گیرش سریع سیمان می‌شود و همچنین از یخ زدگی سیمان جلوگیری می کند ولی یک اثر مخرب دارد و آن خوردگی آرماتور فولادی و ترک خوردگی سیمان است.

به همین لحاظ آشنایی با چگونگی اندازه گیری میزان کلر موجود در نمونه سیمان بسیار حائز اهمیت می باشد.

برای تشخیص نوع و درصد وزنی مواد از روش تحلیل گاماهای آنی ناشی از فعالسازی با نوترون (PGNAA) استفاده می کنیم که یک روش غیرمخرب و دقیق است.

در ابتدا با استفاده از کد محاسباتی (MCNP) هندسه مسئله را شبیه سازی می کنیم و طیف انرژی گامای آنی عناصر تشکیل دهنده نمونه سیمان را برحسب شمارش گامای آنی به دست می آوریم. انرژی گامای آنی برای عنصرهای مختلف منحصر به فرد است بنابراین می توان با استفاده از قله انرژی گامای آنی تشخیص دهیم که متعلق به کدام عنصر می باشد.

بعد از بدست آوردن طیف انرژی گامای آنی برای درصد وزنی مشخصی از کلر موجود در نمونه سیمان، میزان درصد وزنی کلر موجود در نمونه را تغییر می دهیم و مجدداً طیف انرژی گامای آنی را مشاهده می کنیم. با توجه به تغییرات شمارش قله گامای آنی نسبت به درصدهای متفاوت کلر موجود در نمونه در انرژی ۱/۱۷ MeV می توانیم به یک سیستم مدرج دسترسی پیدا کنیم. سپس همین آزمایش را بصورت تجربی و با همان شرایط حاکم بر محاسبات مونت کارلو انجام می دهیم و طیفهای گامای آنی نمونه سیمان را مشاهده می‌کنیم و بصورت آزمایش تجربی سیستم را نسبت به تغییرات درصد وزنی کلر موجود در نمونه مدرج می کنیم. در انتها نتایج حاصل از محاسبات عددی را با نتایج آزمایش مقایسه می کنیم و در صورت همخوانی نتایج با یکدیگر می توان نمونه سیمانی که مقدار کلر موجود در آن معلوم نیست را با در نظر گرفتن شمارش گامای آنی کلر در انرژی ۱/۱۷ MeV، بدست آورد.

Summary

Cement powder is very soft and attracts water , and there is also sticky crashed stone in the mixture , which , are cooked and hot. Some clorine added to its mixture in order to make faster to build up and prevent it from freezing , but is has distraction effect , this is steel armutor and breaking the cement point.

For this reason , it is very important to know exact measurement of clorine , and core in its construction.

It is also important , to know and recognition the type and percent of clorine used. Therefore , for this aim , they use prompt Gamma Neutron Analysis Aim (PGNAA) which is a method whitout distraction and complete care.

At first , from using calculation code (MCNP) , that is to resembling of a geometry problem and spectrum of prompt gamma from elements used in cement type in accordance with number earning of prompt gamma. Energy for prompt gamma for different elements are exclusive , therefore , from the top Energy chart of prompt gamma we can distinguished each one belong to which element is?

After earning spectrum of prompt gamma of percent clorine , weight exists in cement type , we change percent clorine weight in cement symbol , and we again observe the spectrum of prompt gamma.

We notice , the changes number of top energy prompt gamma relative to different clorine exists to 1/17 Mev we can access to calibrated chart.

Then we do the same test with same condition experimentally comparing with Mont-Carlo is experiment. We observethe spectrum of recent prompt gamma in Cement type. And we make calibration chart of new system experienced of different percent clorine weight exists in symbol.

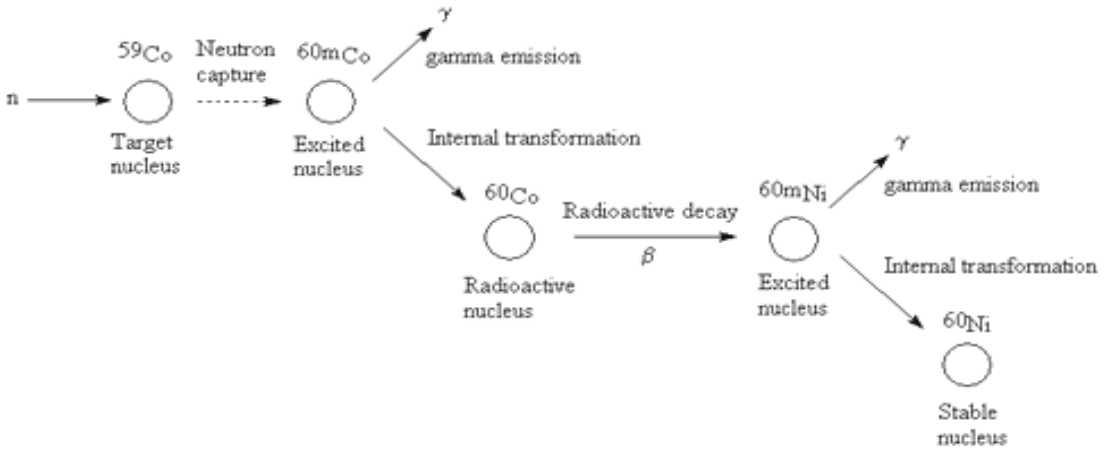
At the end , we compare the result of calculated figure are the same or very close to each others , we can find unknown amount of clorine exists in Cement type , and looking at the numbers of prompt gamma clorine in 1/17 Mev in band.

فصل اول:روش فعال سازی نوترونی

۱-۱: مقدمه

یکی از بهترین راههای تعیین نوع و فراوانی عناصرتشکیل دهنده یک نمونه استفاده از روش فعال سازی با نوترون است.

فرایند یه این شکل است که نمونه مورد بررسی را در معرض بمباران نوترونهای حاصل ازیک چشمه نوترونی مناسب قرار می‌دهند تحت این بمباران تعدادی از هسته‌های عناصر نمونه با جذب نوترون به هسته‌های مرکب برانگیخته تبدیل می‌شوند. میزان برانگیختگی هسته‌های مرکب به انرژی جنبشی نوترون قبل از جذب و انرژی بستگی آن در هسته مرکب بستگی دارد. هر هسته برانگیخته با گسیل یک یا چند پرتو گامای آنی که مشخصه نوع هسته برانگیخته است به حالت پایدارتری می‌رود. در بسیاری از موارد هسته‌های مرکب پس از ارسال گامای آنی به حالت پایدار نمی‌رسند و به صورت عناصر ناپایدار باقی می مانند. این هسته ها در روند واپاشی با گسیل بتا و یک یا چند گامای همراه ، که باز هم مشخصه نوع هسته پرتوزا است ، به حالت پایدار می‌روند. این گاماهای تاخیری معمولا با شدتی بسیار کمتر از گاماهای آنی گسیل می‌شوند که میزان آن بستگی به نیمه عمر هسته فعال دارد. شکل (۱-۱) نمونه‌ای از برهمکنشهای گیراندازی نوترون را با هسته ^{59}Co نشان می‌دهد.



شکل(۱-۱):گسیل گامای آنی و تاخیری در هسته هدف [۱]

حضور دو نوع گامای آنی و تاخیری در فرآیند تجزیه و تحلیل با فعال‌سازی نوترونی[1](NAA) استفاده از این روش را به دو بخش اصلی تقسیم می‌کند[۲].

۱) تجزیه و تحلیل گاماهای تاخیری ناشی از فعال‌سازی نوترونی[2](DGNAA)

۲)تجزیه و تحلیل گاماهای آنی ناشی از فعال‌سازی نوترونی [3](PGNAA)

۱-۲)روش (DGNAA)

در این روش ، نمونه مورد نظر در معرض شار نوترونی قرار می‌گیرد و فعال می‌شود. پس از اینکه نمونه زمان مشخصی در برابر شار نوترونی معلوم قرار گرفت ، به محل دیگری منتقل می‌شود و طیف گامای آن برای مدت زمان مشخصی گرفته می‌شود . از مزایای مهم این روش امکان شناسایی همزمان چند عنصر و نیز غیر مخرب بودن آن است. در نتیجه برای تحلیل نمونه های کمیاب مانند طلا و سنگهای قیمتی ، سکه‌های باستانی و نمونه‌های قدیمی دیگر مفید خواهد بود[۳].

۱-۳)روش (PGNAA)

از آنجا که انرژی گاماهای آنی گسیل شده از هسته‌های برانگیخته در بمباران نوترونی برای عنصرهای مختلف منحصر به فرد است با آشکارسازی آنها می‌توان پی به اجزای تشکیل دهنده نمونه برد. تحلیل گامای آنی به کمک فعالسازی نوترونی روشی است که به سرعت پاسخ می‌دهد و تاخیر ناشی از واپاشی پرتوزا در آن وجود ندارد. در این روش پرتوهای گامای آنی گسیل شده بی درنگ آشکار می‌شود. عمق نفوذ برای نوترون‌ها در ماده از یک طرف و حداقل جذب پرتوهای گاما با انرژی زیاد از طرف دیگر PGNAA را روشی ایده‌ال برای نمونه‌های حجیم می‌سازد[۴].

استفاده از این روش بخصوص برای آشکارسازی عناصری که با ارسال گامای آنی به حالت پایدار می‌رسند کاربرد دارد.

---

[1]Neutron activeation analize
[2] prompt gamma Neutron activaetion analysis
[3] Deiayed gamma Neutron activaetion analysis

۱-۴: برخی از کاربردهای روش PGNAA

۱-۴-۱تعیین عناصر سمی

چون PGNAA برای تعیین عناصر سمی مانند جیوه و کادمیم حساسیت بالایی دارد، ابزار مناسبی برای تشخیص آلودگی های زیست محیطی است. به کمک این روش مقدار کادمیم موجود در رسوبات رودخانه‌ها ،استخرها ، و ذرات دود ناشی از وسایل نقلیه تعیین شده است. همچنین تعیین عناصر کم مقدار مانند جیوه ، در موی سر انسان با کمک این روش گزارش شده است [۵و۶].

۱-۴-۲میزان آلودگی های نفتی آب

در سال ۱۹۹۸ با همکاری بین آژانس بین المللی اتمی[۴](IAEA) و مرکز تحقیقات انرژی اتمی ژاپن [۵](JAERI) میزان آلودگی های نفتی خلیج فارس بعد از دوران جنگ در نمونه‌های مرجانی و رسوبات ته‌نشین به کمک روش PGNAA بررسی شد. نتایج حاصل از این تحقیق با روش تحلیل تاخیری DGNAA مقایسه شد. ۴۰ عنصر شامل عناصری مانند هیدروژن ، بور ، ازت ، سیلسیم ، کلسیم که با روش DGNAA مشخص نشده بودند ، با روش PGNAA به دست آمد[۷].

۱-۴-۳سازوکار رشد گیاهان

بور یکی از شناخته‌ترین اجزای فرایند رشد گیاهان است. نمونه‌های گیاهی زیادی (اسفناج، گوجه و...) به کمک این روش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند [۸].

[4] International Atomic Energy Agency
[5] Japan atomic energy research Institue

۱-۴-۴کاربردهای صنعتی

می‌توان به اکتشاف مواد معدنی زیرزمینی و بررسب لایه های حفاری چاه ها و کنترل جریان ها اشاره کرد که این روش ها به ISPGAA[۶] مشهور است.

۱-۴-۵ تشخیص برخی از عناصر در موجود زنده

استفاده از روش PGNAA در نمونه مورد آزمایش زنده ، IVPGAA [۷] نامیده می‌شود که در پزشکی پزشکی کاربرد دارد.رویش عناصر حیاتی بدن ، تعیین مقدار کادمیم در کبد و مقدار کلر در کلیه با کمک این روش صورت گرفته است.هم چنین می‌توان مقدار کلی ازت داخل بدن را با این روش تعیین کرد[۸](TNB)

۱-۴-۶تعیین عناصر موجود در مواد مختلف

روش PGNAA به دلیل غیر مخرب بودن و دقت بالای آن در تجزیه و تحلیل نوع عناصر و درصد وزنی آنها ، کاربردهای بسیار گسترده‌ای دارد. در میان کاربردهای متنوع روش PGNAA، می‌توان به آشکارسازی عناصر موجود در پودر سیمان و بلوکه های سیمانی اشاره کرد.

از آنجا که سیمان و بلوکه‌های سیمانی در بخش صنعت و ساخت و ساز اهمیت فراوانی دارد ، لذا تشخیص عناصر تشکیل دهنده آن و همچنین تعیین درصد وزنی عناصر مختلف با استفاده از روش PGNAA بسیار مهم و جالب توجه خواهد بود. از بین عناصر تشکیل دهنده سیمان ، کلر نقش بسزایی را ایفا می‌کند.

کلر باعث گیرش سریع سیمان می‌شود و همچنین در فصل زمستان از یخزدگی سیمان جلوگیری می‌کند، اما وجود بیش از حد این عنصر در سیمان باعث می‌شود کلر با آرماتورهای فولادی که در درون بلوکه‌های بتونی قرار داده می‌شوند واکنش دهد و باعث خوردگی آرماتور شود .

---

[6] .In Situe Prompt Gamma Activation Analysis
[7] In Vivo Prompt Gamma Activation Analysis
[8] Total Nitrogen Body

برای طراحی و ساخت دستگاهی که بتواند هدف فوق را تامین کند، بایستی ابتدا سامانه‌های پیشنهادی مختلف را مورد مطالعه قرار داد و آنها را با تمام جزئیات توسط برنامه‌های رایانه ای که به همین منظور طراحی شده‌اند شبیه‌سازی کرد تا امکان دستیابی به یک سامانه با کارایی بهینه فراهم شود.

۱-۵ برتریهای تحلیل PGNAA عبارتند از

تجزیه و تحلیل به روش PGNAA در مقایسه با سایر روش های متداول دارای برتری‌هایی است که به اختصار در زیر فهرست شده اند:

۱)غیر مخرب بودن نمونه (در اغلب موارد)

۲)برای جرم‌های کم و مقادیر ناچیز می‌توان به پاسخ لازم رسید.

۳)می‌توان همزمان بیش از یک عنصر را آشکارسازی نمود .

۴)ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر را شناسایی می‌کند.

۵)نتیجه‌ها را به سرعت بدست می‌دهد.

۶)عناصر سمی را می‌شود تعیین کرد.

۷)تشخیص عناصر ، تنها به سطح مقطع ، جرم نمونه و شار فرودی بستگی دارد و تابع میزان و سرعت واپاشی نیست.

۱-۶:معایب عمده PGNAA

۱)شارهای کم به حساسیت پایین تر می‌انجامد.

۲)طیف‌های بدست آمده پیچیده هستند.

۳)زمینه‌های مختلف موجود در آزمایشگاه در اثر واکنش نوترون ایجاد طیف‌های مزاحم تداخلی می‌کنند.

۴)تجزیه شیمیایی ماده را نمی دهد. به طوری برای مثال ، درصد مواد اکسید شده در نمونه را نمی‌توان با روش PGNAA بررسی کرد.

۱-۷ انواع چشمه نوترون

از آنجا که در فرایند تجزیه و تحلیل به روش فعال‌سازی نوترونی ، استفاده از یک منبع نوترون اساس بررسی و انجام آزمایش‌های مورد نظر است ، به اختصار به معرفی چشمه‌های نوترون می پردازیم:

اساسا چند روش مختلف برای بدست آوردن نوترونهایی با انرژیهای متفاوت وجود دارد .

۱-۷-۱ چشمه آلفا – نوترون (α-n)

واکنش (α-n) روی عناصر سبک که منجر به کشف نوترون شد هنوز هم به منظور تولید نوترون استفاده می‌شود . ذره آلفا در این واکنش را می‌توان از یک عنصر پرتوزای گسیلنده آلفا گرفت.

بهترین ایزوتوپهای گسیلنده آلفا که در ساخت چشمه‌های نوترون (α-n) می‌توان از آنها بهره برد عبارتند از ^{241}Am ، ^{226}Ra ، ^{238}Pu و ^{241}Pu . هدف اینگونه چشمه‌ها عموما ^{9}Be انتخاب می-شود ، زیرا آخرین نوترون این عنصر پیوند بسیار سستی با هسته هدف دارد و می تواند به عنوان هدف بیشترین بازده تولید نوترون را داشته باشد .

جدول (۱-۲) نمونه ای از ایزوتوپهای هدف با تعداد نوترونهای تولید شده ناشی از بمباران $۱۰^{۶}$ ذره آلفا گسیل شده از ^{241}Am رانشان می‌دهد . ^{9}Be یک ایزوتوپ پایدار است که در اثر برخورد یک ذره آلفا با انرژی حدود ۶-۵ مگا الکترون ولت طبق واکنش زیر نوترون آزاد می‌کند .

$$^{4}He + {}^{9}Be \longrightarrow {}^{12}C + n + 5.7\ MeV$$

جدول (۱-۱) نوترونهای تولید شده ناشی از بمباران هدفهای مختلف به ازای 10^6 ذره آلفا گسیل شده از ^{241}Am [۹]

هدف	نوع واکنش	Q	نوترون تولید شده
B طبیعی	$^{9}B\ (\alpha\text{-}n)$ $^{9}B\ (\alpha\text{-}n)$	1.07 0.158	13
^{19}F	$^{19}F\ (\alpha\text{-}n)$	-1.93	4.1
^{9}Be	$^{9}Be\ (\alpha\text{-}n)$	5.71	70

آلفای مورد نیاز برای این واکنش را می‌توان از عناصر آلفازا با نیمه عمر طولانی تهیه نمود . هرگاه یک گرم رادیوم (^{226}Ra) را با چند گرم بریلیوم مخلوط کنیم در حدود $۱۰^{۷}$ نوترون در ثانیه با آهنگ ثابتی تولید خواهد شد . انرژی آلفای گسیلی از ^{226}Ra و دخترانش بین۵ تاMeV ۸ است و چون بیشتر انرژی پس زنی واکنش به نوترون می‌رسد بنابراین با توجه به مقدارQ واکنش ، طیف نوترون گسیلی از چشمه تا حدود MeV ۱۳ گسترش می یابد .

چشمه امرسیوم – بریلیوم (Am-Be)

یکی از چشمه‌های رایج نوترون ، چشمه امرسیوم – بریلیوم ($Am\text{-}Be$) است که از ایزوتوپ ^{241}Am با نیمه عمر ۴۳۳ سال بعنوان گسیلنده آلفا استفاده می‌کند . یک چنین نیمه عمری امکان کاربرد طولانی این چشمه را با شار پایدار فراهم می‌کند . از gr ۰/۸۷ ماده فعال از آن می‌توان چشمه ای با نوترون دهی $6.6\times10^6\ n/s$ و فعالیت ci ۲/۹ تولید کرد [7] . این چشمه علاوه بر تولید نوترون یک چشمه گامایMeV ۴/۴۳۸ نیز هست و از طریق کانال‌های واکنش زیر نوترون و گاما تولید می کند [۱۰]:

$$\alpha + {}^{9}Be \longrightarrow {}^{12}C^{*} \begin{cases} n + {}^{12}C \\ n + {}^{12}C + \gamma_1 \quad E_{\gamma 1} = 4.438\ MeV \\ n + {}^{12}C + \gamma_1 + \gamma_2 \quad E_{\gamma 2} = 3.216\ MeV \\ n + {}^{12}C + \gamma_3 \quad E_{\gamma 3} = 9.641\ MeV \end{cases}$$

در بین واکنشهای فوق تولید کربن به حالت پایه غالب است بطوریکه نسبت کل تعداد گاماها به نوترون گسیل شده از چشمه حدود ۰/۵۹ است [۱۱و۱۲] . یعنی به ازای $۱۰^{۶}$ ذره آلفا ، ۷۰ نوترون و ۷/۴۱ پرتو گاما ، که عمدتا با انرژی MeV ۴/۴۳۸ است ، گسیل می‌شود [۱۱] . برای تولید این چشمه معمولا Am را به صورت اکسید (AmO_2) با پودر Be مخلوط می‌کنند .

۱-۷-۲ چشمه فوتو نوترون (γ-n)

می‌توان از واکنش (γ-n) برای تولید نوترون استفاده کرد .این واکنشها همگی واکنشهایی گرماگیرند [12] . برهمکنشهای گاما با هسته به سه شکل مختلف صورت می گیرد که در زیر به آنها اشاره می‌کنیم :

الف)گاماهای با انرژی MeV ۳۰-۱۰ بصورت همدوس با پروتونهای دورن هسته بر همکنش می‌کنند . این هسته‌ها برانگیخته شده و سپس با گسیل یک نوترون با انرژی کمتر از MeV۱۰ واانگیخته می‌شوند .

ب) گاماهای با انرژی در بازه MeV ۶۰۰-۱۰ با تک پروتونها برهمکنش کرده و انرژیشان را به نوترون منتقل کرده و سپس نوترون را از هسته خارج می‌کنند .

ج) گاماهای با انرژی بیش از MeV ۱۴۰ با کوارکها برهمکنش می‌کند و پایون π و نوترون گسیل می‌کنند . در همه این موارد آهنگ تولید نوترون به نوع ماده و انرژی پرتو فرودی بستگی دارد.

علاوه بر موارد بالا ، گاما می‌تواند با برهمکنش با هسته ، به نوترون ظرفیت انرژی داده و آنرا از هسته جدا کند .

مزیت چشمه‌های (γ-n) نسبت به چشمه‌های (α-n) اینست که می‌توان نوترونهای تک انرژی‌تری تهیه نمود ، خصوصا اگر چشمه گاما تک انرژی باشد . مشکل اساسی در این روش پیدا نمودن یک گسیلنده گامای تک انرژی با نیمه عمر بالاست.

اساس کار اکثر این چشمه واکنشهای $^{9}Be\ (\gamma,n)\ ^{8}Be$ و $^{2}H\ (\gamma,n)\ ^{1}H$ هستند . انرژی آستانه برای این واکنشها نسبتا پایین است ، در حدود $2.33MeV$ برای واکنش $^{2}H\ (\gamma,n)\ ^{1}H$ و $^{9}Be\ (\gamma,n)\ ^{8}Be$ برای واکنش ۱/۶۷MeV . با ترکیب یک گاما دهنده مناسب و Be یا D_2O در شرایط مناسب می‌توان به شاری تا 10^{7} نوترون در ثانیه دست یافت .

از جمله چشمه‌های گامای مناسب ^{24}Na پرتوی گامایی با انرژی MeV ۲/۷۶ گسیل می‌کند . این انرژی برای غلبه بر انرژی بستگی نوترون در ^{9}Be کافیست .

$$\gamma + {}^{9}Be \longrightarrow {}^{8}Be + n$$

بهره این فرآیند 2×10^{6} نوترون به ازای هر کوری از ^{24}Na و انرژی میانگین نوترونها در حدود ۸۳۰keV است . مشکل اساسی نیمه عمر کوتاه ^{24}Na است که در حدود ۱۵ ساعت است .

۱-۷-۳ چشمه های حاصل از شکافت خودبخودی:

برخی از هسته‌های سنگین به طور خودبخودی دستخوش شکافت می‌شوند و همانطور که می‌دانیم نتیجه شکافت هر هسته علاوه بر دو پاره شکافت تعدادی نوترون نیز می‌باشد . قدرت این چشمه‌ها هنگامیکه تحت تابش نوترون قرار می گیرند ، بدلیل افزایش شکافتهای ناشی از جذب نوترون بسیار افزایش می‌یابد . مهمترین ایزوتوپی که در ساخت این چشمه‌ها از آن استفاده می‌شود ^{252}Cf است . البته همه عناصری که بالای اورانیوم هستند قابلیت شکافت خودبخودی را دارند. اما ایزوتوپ ^{252}Cf با نیمه عمر ۲/۵۶ سال توانایی ارائه شار بسیار بالایی از نوترون را دارد بطوریکه به ازاء هر گرم ^{252}Cf ، 2.3×10^{22} نوترون در ثانیه تولید می‌شود که فعالیت بسیار بالایی است [۱۵] . عیب اساسی چشمه مصنوعی ^{252}Cf نیمه عمر کوتاه و عدم وجود آن در طبیعت است . این چشمه بعلت تهیه مشکل آن بسیار گرانقیمت است . طیف انرژی نوترونهای حاصل از این چشمه‌ها یک توزیع پیوسته به شکل ماکسولی با انرژی متوسط MeV ۳-۱ است .

۱-۷-۴ چشمه رآکتور

از واکنشهای شکافت هسته‌ای که در درون یک رآکتور رخ می‌دهد می‌توان به عنوان یک چشمه نوترون استفاده نمود . از خصوصیات چنین چشمه‌ای شار بالای نوترون آن است که در قلب یک رآکتور نوعی از مرتبه $۱۰^{۱۴}$ نوترون بر سانتی متر مربع در ثانیه می‌تواند باشد .

طیف انرژی نوترون‌های آن تا حدود $۱۰Mev$ گسترش دارد (بدون کند کننده) و دارای قله ای حوالی $۱-۲\ MeV$ می‌باشد . انرژی این نوترونها عموما در داخل رآکتور تا انرژی گرمایی کاهش می‌یابد ولی نوترونهای تند نیز در قلب رآکتور حضور دارند . از نظر عملی می‌توان با ایجاد کانال کوچکی در حفاظ رآکتور باریکه ای از نوترونها را برای آزمایشهای مختلف به داخل آزمایشگاه برد . شار نوترونی بالای حاصل از رآکتور خصوصا برای ایجاد ایزوتوپهای پرتوزا از طریق گیر اندازی نوترون مورد استفاده‌اند ، که نمونه آن بررسی های تحقیقاتی به روش فعالسازی نوترون است.

۱-۷-۵ چشمه الکترون – نوترون

فرآیند اولیه برای تولید نوترون در شتابدهنده‌های الکترونی ، از طریق جذب فوتونهای ناشی از تابش ترمزی می‌تواند روی دهد . نوترون در هر ماده ای که فوتون ناشی از تابش ترمزی با انرژی بالاتر از انرژی آستانه اش برخورد کند ($۱۰-۱۹\ MeV$ معمولا برای هسته‌های سبک و $۶-۷Mev$ برای هسته‌های سنگین) ، تولید می‌شود . برای فوتونی با انرژی بین انرژی آستانه تا حدود $۳۰\ MeV$ تولید نوترون از طریق فرآیند تشدید غول آسا صورت می‌گیرد . برای انرژی معینی از یک الکترون ، بهره نوترونی به میزان سطح مقطع و شکل طیف تابش ترمزی تولید شده توسط الکترون بستگی دارد .

۱-۷-۶ چشمه حاصل از واکنشهای هسته ای

باریکه‌های نوترونی را می‌توان در انواع مختلف واکنشهای هسته‌ای ایجاد کرد . تعدادی واکنش هسته‌ای وجود دارد که طی آنها نوترون گسیل می‌شود . این امر نیاز به یک شتابدهنده برای ایجاد باریکه‌ای از ذرات دارد تا واکنش را آغاز کنند ، بنابراین استفاده از آنها بآسانی چشمه‌هایی که از عناصر پرتوزا برای آنها استفاده می‌شود ، نیست . با اینحال ، با انتخاب دقیق انرژی تابشی و زاویه‌ای که در آن نوترون گسیل شده را مشاهده می‌کنیم ، غالبا می‌توان باریکه تک انرژی قابل قبولی را برای هر انرژی بدست آورد . نمونه ای از واکنشهای مورد استفاده به صورت زیرند :

$$^{3}H + p \longrightarrow {}^{4}He + n$$

$$^{7}Li + p \longrightarrow {}^{7}Be + n$$

۱-۷-۷: مقایسه چشمه $Am - Be$ و ^{252}Cf ^{241}

در مقایسه بین دو چشمه نوترونی، باید گفت که تعداد آلفاهای گسیل شده به ازای یک نوترون از چشمه Cf بسیار کمتر از چشمه Am-Be است. علاوه بر این، انرژی گاماهای گسیل شده از چشمه نشان می‌دهد که به طور متوسط گاماهای ارسال شده از چشمه کالیفرنیوم، به مراتب کم انرژی تر از گاماهای گسیل شده از چشمه Am – Be هستند.

نرخ پایین گسیل گاما و آلفاهای پر انرژی از ^{252} cf و مقدار ناچیز ماده ی فعال مورد نیاز در ساخت چشمه نوترونی، باعث شده است که کپسول اطراف این چشمه ابعادی بسیار کوچکتر از کپسول نگهدارنده چشمه Am– Be داشته باشد[۲].

۱-۸ آشکارساز سوسوزن NaI(TI)

بین تمام سوسوزن‌های رایج ، بلور NaI که با تالیوم فعال شده باشد NaI(TI) ، بیشترین کاربرد را برای آشکارسازی پرتوهای گاما دارد.

طرز کار این آشکارساز این است که پس از برخورد فوتون گاما به آن، بلورهای سوسوزن برانگیخته می شوند و با گسیل فوتون وا انگیخته می‌شوند و چند فوتون که در طیف الکترومغناطیسی دارای فرکانس نور مرئی می‌باشند آزاد می‌شود.

در قسمت کریستالی دتکتور NaI، یک پوسته نوترون به کار برده می‌شود زیرا واکنش نوترون تولید گاماهای آنی و گاماهای رادیوایزوتوپی می‌کند و قرار دادن این پوسته جلوی بک‌گراند را می‌گیرد و پاسخ آنرا کاهش می دهد.

در جذب نوترونهای کم انرژی نقش ید از سدیم بیشتر است و همچنین نیمه عمر ید که در حدود ۲۴/۹۹ دقیقه است از نیمه عمر سدیم که در حدود ۱۴/۸ ساعت است خیلی کوتاهتر است. وقتی که نوترون‌های حرارتی گیر می‌افتند علاوه بر گاماهای آنی، مقداری هم عناصر ^{128}I و ^{۲۴}Na از خود اشعه‌های گاما و بتا پس مانده می‌گذارند جدول (۱-۲) و (۱-۳) مخصوص ^{۲۴}Na و ^{۱۲۸}I است که در انرژی‌های متفاوت γ و β تاخیری با درصدهای متفاوت را نشان می دهد[۱۳].

گاما و بتا تاخیری جدول (2-1)

γ's and β's from ^{24}N...

	Energy (MeV)	Intensity (%)
γ	1.368	99.992
	2.754	99.944
β	0.277	0.053
	1.390	99.944

جدول (3-1) گاما و بتا تاخیری از یه پرانکیخته

γ's and β's from ^{128}I

	Energy (MeV)	Intensity (%)
γ	0.443	0.16
	0.527	0.0154
β^-	1.682	15
	2.125	77
β^+	0.511	0.14
	1.254	6

۱-۸-۱ برتری ها و معایب آشکارساز *NaI(TI)*

برتریهای این آشکارساز عبارت است از:

۱)می‌توان آنها را در هر شکل و اندازه ای تهیه کرد.

۲)دارای بازده‌ای نسبتا بالایی هستند.

۳)ارزانتر از آشکارسازهای نیم رسانا هستند.

معایب این آشکارساز عبارتند ار:

۱)قدرت تفکیک انرژی پایین آنها در مقایسه با آشکارسازهای Si(LI) و Ge(Li) است.

۲)لزوم سوار کردن آنها بر روی یک تکثیر کننده فوتونی است.

۱-۸-۲تابع پاسخ آشکارساز *NaI(Tl)*

در MCNP مسئله تابع پاسخ را با تالی F8 که روی حجم دتکتور می‌گیریم محاسبه می‌کنیم و برای مشاهده پهنای پیک های انرژی از GEB استفاده میکنیم.(Gussian Energy Bound)

GEB: (پهنای انرژی گوسی) یک روش خاصی برای تالی‌ها است.

پهنای انرژی تالی به وسیله یک مدل گوسی انجام می‌شود:

که در آن:

$$F(E) = Ce^{-[(E-E_0)/A]^2}$$

E= انرژی پهن شده

E_0=انرژی پهن نشده

C=ثابت نرمالیزاسیون

A=پهنای گوسی

$$A = \frac{FwHm}{2\sqrt{\ln 2}}$$

$FwHm=a+b\sqrt{E+CE^2}$

a,b,c=سه ثابت هستند و یک رابطه غیر خطی را نشان می دهند

E=انرژی گامای تابشی

بنابراین در این روش، می‌توان برای تولید پاسخ‌های دتکتور از پارامترهای روش GEB استفاده کرد[۱۳].

$c= 0/21159Mev^{-1}$

$\frac{1}{2}a= - 0/00789$ Mev

$b= 0/06769Mev$