

الله الرحمن الرحيم



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده فیزیک و مهندسی هسته ای

پایان نامه کارشناسی ارشد

مطالعه نمک‌های فلزی تنگستیک اسید به عنوان حفاظ و آشکارساز گاما

نگارنده: ساناز یاهوزاده

استاد راهنما مسلم

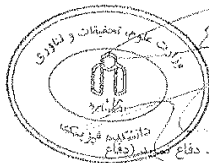
سوهانی

بهمن ۹۷

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای سناز یاهورزاده با شماره دانشجویی ۹۴۱۹۱۱۴ رشته فیزیک گرایش هسته ای تحت عنوان مطالعه نمک های فلزی تنگستیک اسید به عنوان حفاظ و آشکارساز گاما که در تاریخ ۹۷/۱۱/۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود <input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>بسیار خوب</u>)			
نوع تحقیق: <input checked="" type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی			
امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر مسلم سوهانی	۱- استاد راهنمای اول
			۲- استاد راهنمای دوم
			۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر رضا فلی پور پیوندی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر احسان ابراهیمی	۵- استاد ممتحن اول
	دانشیار	دکتر حسین توکلی عنبران	۶- استاد ممتحن دوم



نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر سعید حسامی پیله رود

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تصوه: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع مجدد کند (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می‌نمایم

به:

محضر ارز شمنند مادر عزیزم به خاطر همه‌ی تلاش‌های محبت‌آمیزی که در دوران‌های

مختلف زندگی‌ام انجام دادند و بامهربانی چگونه زیستن را به من را آموخته‌اند.

اکنون که به یاری خداوند این دوره را به پایان رسانیده‌ام بر خود واجب می‌دانم از

استاد ارجمندی بزرگوارم جناب آقای دکتر مسلم سوهانی به پاس زحمات بی‌شائبه‌شان در

طی انجام این تحقیق سپاسگزاری نمایم.

تعمدنامه

اینجانب ساناز یاهوزاده دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک هسته‌ای دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه مطالعه نمک‌های فلزی تنگستیک اسید به عنوان حفاظ و آشکارساز گاما تحت راهنمایی دکتر مسلم سوهانی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ: ۱۳۹۷/۴/۲۷

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

چکیده

با توجه به کاربرد روز افزون پرتوهای یون ساز به ویژه پرتوهای گاما و ایکس در حوزه‌های مختلفی از جمله پزشکی، صنعت و کشاورزی و ... و با توجه به آثار مخرب و زیان آور این تابش‌ها، حفاظت-گذاری این پرتوها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حفاظ‌ها موادی هستند که بین منبع تابش یون-ساز و جسمی که قرار است از آن حفاظت شود قرار گرفته و باعث کاهش میزان شدت تابش رسیده به جسم می‌شوند. انتخاب موادی که به عنوان حفاظ مورد استفاده قرار می‌گیرند بسته به نوع و انرژی ذره فرودی و شدت تابش متفاوت است. در مواردی به علت حجم زیاد و هزینه بالا، استفاده از حفاظ‌های رایج مشکل ساز است. حفاظت در برابر تابش نیاز به کارگیری روش‌های کارآمد و طراحی حفاظ‌هایی با کیفیت و مقرون به صرفه است.

در این پژوهش به بررسی حفاظ‌گذاری اشعه گاما پرداخته‌ایم و با شبیه سازی مونت کارلو و بهره‌گیری از کد MCNPX به بررسی و مقایسه استفاده از نمک‌های فلزی تنگستیک اسید با ترکیبات متداول به عنوان حفاظ پرداخته و آن را شبیه سازی کردیم سپس به بررسی کانی سلسیت و ورقه‌ای مسی و ورقه‌ای سرب به عنوان حفاظ تابش گاما پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: پرتوی گاما، حفاظ گذاری، شبیه سازی مونت کارلو، نمک‌های فلزی تنگستیک اسید.

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه.....
۲	۱-۱ تابش یون ساز.....
۳	۲-۱ برهم کنش گاما با ماده.....
۴	۱-۲-۱ اثر فوتوالکتریک.....
۶	۲-۲-۱ پراکندگی کامپتون.....
۸	۳-۲-۱ تولید زوج.....
۱۰	۳-۱ سهم برهم کنش گاما با ماده در تضعیف.....
۱۲	۴-۱ سطح مقطع اندرکنش.....
۱۳	۵-۱ ضریب تضعیف تابش گاما.....
۱۵	۱-۵-۱ ضریب تضعیف خطی.....
۱۶	۲-۵-۱ ضریب تضعیف جرمی.....
۱۷	۶-۱ حفاظ گذاری اشعه گاما.....
۱۷	۱-۶-۱ اترکیبات متداول در حفاظ گذاری اشعه گاما.....
۱۹	فصل دوم: آشکارسازها.....
۲۰	۲-۱ آشکارسازی ذرات.....
۲۲	۲-۲ اصول ساز و کار آشکارسازها.....
۲۴	۳-۲ معرفی آشکارسازها.....
۲۴	۴-۲ ساز و کار آشکارساز های سوسوزن و طبقه بندی آن ها.....
۲۵	۲-۴-۱ سوسوزن های غیر آلی (بلوری).....
۲۶	۲-۴-۲ سوسوزن های آلی.....
۲۸	۲-۵ تکثیر کننده فوتون (PMT).....
۲۹	۲-۵-۱ فوتو کاتد.....
۲۹	۲-۵-۲ داینودها.....
۳۰	۲-۶ تطیف نگاری اشعه گاما.....
۳۰	۲-۶-۱ قله فوتوپیک یا قله تمام انرژی.....
۳۱	۲-۶-۲ لبه کامپتون.....
۳۲	۲-۶-۳ قله تک فرار و دو فرار.....

۳۳	.....۴-۶-۲ قله پس پراکندگی
۳۵	.....فصل سوم: شبیه سازی
۳۶	.....۱-۳ تعریف شبیه سازی
۳۷	.....۲-۳ موارد استفاده از شبیه سازی
۳۸	.....۳-۳ روش مونت کارلو
۳۹	.....۴-۳ تاریخچه و ساختار کد MCNPX
۴۰	.....۱-۴-۳ ساختار فایل ورودی
۴۱	.....۲-۴-۳ کارت سلول
۴۲	.....۳-۴-۳ کارت سطوح
۴۲	.....۴-۴-۳ کارت داده
۴۳	.....۱-۴-۴-۳ تعریف ماده
۴۳	.....۲-۴-۴-۳ تعریف چشمه
۴۴	.....۳-۴-۴-۳ تعریف خروجی ها
۴۷	.....فصل چهارم: نتایج
۶۳	.....پیوست ها
۶۷	.....مراجع

فهرست شکل ها:

- شکل ۱-۱: اثر فوتوالکتریک..... ۴
- شکل ۱-۲ وابستگی سطح مقطع فوتوالکتریک به (الف) عدد اتمی ماده و (ب) انرژی فوتون ۵
- شکل ۱-۳ پراکندگی کامپتون..... ۶
- شکل ۱-۴ نمودار وابستگی سطح مقطع کامپتون به (الف) عدد اتمی ماده و (ب) انرژی فوتون..... ۸
- شکل ۱-۵ نمودار هندسی تولید زوج..... ۹
- شکل ۱-۶ وابستگی سطح مقطع تولید زوج به (الف) انرژی فوتون و (ب) عدد اتمی ماده..... ۱۰
- شکل ۱-۷ نمودار میزان سه اثر مهم در برهم کنش گاما با ماده به تناسب انرژی تابش فرودی و عدد اتمی ماده جاذب..... ۱۱
- شکل ۱-۸ باریکه ای از فوتون های گاما که با هدف برخورد می کنند..... ۱۲
- شکل ۱-۹ باریکه تابشی I_0 به طور موازی از چشمه S خارج شده است و به ماده جاذب با ضخامت t برخورد می کند و شدت باقیمانده I به آشکارساز می رسد..... ۱۴
- شکل ۱-۱۰ ضریب تضعیف جرمی برای (الف) $PbWO_4$ و (ب) $CdWO_4$ ۱۶
- شکل ۲-۱ پالس خروجی از آشکارساز..... ۲۰
- شکل ۲-۲ وجه تمایز توان تفکیک انرژی خوب و بد..... ۲۲
- شکل ۲-۳ تصویری شماتیک از مدار آشکارساز..... ۲۲
- شکل ۲-۴ ساختار نمونه ای از تکثیر کننده فوتون..... ۲۵
- شکل ۲-۵ لوله تکثیر کننده فوتون (PMT)..... ۲۸
- شکل ۲-۶ در حالت (الف) بخشی از انرژی الکترون در دیواره ذخیره می شود و در حالت (ب) تمام انرژی الکترون در آشکارساز ذخیره می شود..... ۳۰
- شکل ۲-۷ فرار فوتون از آشکارساز در پراکندگی کامپتون..... ۳۱
- شکل ۲-۸ پراکندگی کامپتون نزدیک دیواره..... ۳۳
- شکل ۴-۱ هندسه شبیه سازی شده بر اساس کد $mcnp_x$ ۴۹
- شکل ۴-۲ نمودار درصد عبور تابش گاما از حفاظ های متشکل از مواد مختلف به ضخامت ۱cm بر حسب چگالی..... ۴۹
- شکل ۴-۳ نمودار درصد عبور تابش گاما از حفاظ های متشکل از مواد مختلف به ضخامت ۱cm بر حسب Z موثر..... ۵۰
- شکل ۴-۴ طیف فوتون های رسیده به هدف بعد از عبور از حفاظ $PbWO_4$ (■) و $CdWO_4$ (★)..... ۵۰
- شکل ۴-۵ هندسه ی مربوط به آشکارساز مورد استفاده در تجربه..... ۵۳
- شکل ۴-۶ نمودار تعداد فوتون های رسیده به آشکارساز بر حسب انرژی با حضور چشمه..... ۵۴

شکل ۴-۷ نمودار تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز بر حسب انرژی با حضور حفاظ شماره ۱..... ۵۴

شکل ۴-۸ نمودار تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز بر حسب انرژی با حضور حفاظ شماره ۲..... ۵۵

شکل ۴-۹ نمودار تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز بر حسب انرژی با حضور حفاظ ورقه مس..... ۵۵

شکل ۴-۱۰ نمودار تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز بر حسب انرژی با حضور حفاظ ورقه سرب..... ۵۶

شکل ۴-۱۱ هندسه شبیه‌سازی شده بر توسط کد `mcnp`..... ۵۶

شکل ۴-۱۲ تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز بدون حفاظ در شبیه‌سازی بر حسب انرژی..... ۵۷

شکل ۴-۱۳ تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز با حفاظ شماره ۱ در شبیه‌سازی بر حسب انرژی..... ۵۷

شکل ۴-۱۴ تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز با حفاظ شماره ۲ در شبیه‌سازی بر حسب انرژی..... ۵۸

شکل ۴-۱۵ تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز با حفاظ ورقه مس در شبیه‌سازی بر حسب انرژی..... ۵۸

شکل ۴-۱۶ تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز با حفاظ ورقه سرب در شبیه‌سازی بر حسب انرژی..... ۵۹

فهرست جدول ها:

- جدول ۲-۲ مشخصات برخی از سوسوزن های متداول..... ۲۶
- جدول ۳-۲ مشخصات برخی از سوسوزن های آلی..... ۲۷
- جدول ۴-۲ برخی از مواد حساس به فوتون..... ۲۹
- جدول ۱-۳ معرفی متغیر های چشمه و مفهوم آن ها آمده است..... ۴۴
- جدول ۲-۳ جدول ۲-۳ معرفی تمام تالی های تعریف شده در کد mcnp..... ۴۵
- جدول ۳-۳ یکاهای تالی های مختلف..... ۴۵
- جدول ۴-۱۱ اطلاعات چشمه ۵۰
- جدول ۴-۲ پاسخ آنالیز دو نمونه بر حسب درصد..... ۵۱

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ تابش یون ساز

کلمه تابش تا حدود سال ۱۹۰۰/۱۲۷۹ برای توصیف امواج الکترومغناطیسی به کار می‌رفت. در دهه ۱۹۲۰ میلادی دوبروی نظریه خود را براساس دو گانگی موج - ذره بیان کرد و پس از گذشت مدت زمانی درستی این نظریه به کمک آزمایش پراش الکترون به اثبات رسید. بر اساس این نظریه منظور از تابش تمامی طیف الکترومغناطیسی و همه ذرات کشف شده اتمی و زیر اتمی است [۱]. رایج‌ترین واحد انرژی مورد استفاده برای تابش، الکترون ولت (eV) است. الکترون ولت مقدار انرژی جنبشی است که یک الکترون در حین شتاب گرفتن تحت اختلاف پتانسیل الکتریکی یک ولت دریافت می‌کند.

راه‌های متعددی برای گروه‌بندی انواع مختلف تابش‌ها وجود دارد. یکی از مهم‌ترین آن‌ها تقسیم‌بندی براساس خاصیت یونندگی و نایونندگی تابش است. یونش فرآیندی است که در آن یک اتم یا مولکول الکترون از دست می‌دهد و با تغییر بار الکتریکی تبدیل به یون می‌شود و از لحاظ فیزیکی و شیمیایی رفتاری متفاوت از یک اتم و مولکول پایدار نشان می‌دهد. بدین ترتیب تابش یون‌ساز تابشی است که انرژی کافی برای جدا کردن الکترون‌های مقید از اتم‌ها و مولکول‌ها را دارد و به این ترتیب آن‌ها را یونیزه می‌کند [۲].

تابش یون‌ساز را به طور کلی می‌توان به سه گروه ذرات باردار (الکترون، پوزیترون، پروتون، دوترون، آلفا و یون‌های سنگین) فوتون‌ها (پرتوهای گاما و ایکس) و نوترون‌ها تقسیم بندی کرد. هم‌چنین می‌توان تابش‌ها را براساس قدرت نفوذشان به چهار گروه زیر تقسیم کرد:

۱- ذرات باردار سبک: ذرات بتا (الکترون‌های منفی)، پوزیترون (الکترون‌های مثبت)، الکترون‌های تبدیل داخلی و الکترون اوزه

۲- ذرات باردار سنگین: شامل همه ذرات با جرم مساوی یا بزرگتر از جرم واحد اتمی amu مثل پروتون و آلفا و محصولات شکافت .

۳- تابش الکترومغناطیسی: شامل اشعه گاما و اشعه X

۴- نوترون‌ها: شامل نوترون‌های سریع، نوترون‌های متوسط، نوترون‌های شبه حرارتی و حرارتی و نوترون‌های سرد.

پرتوهای X و γ تابش الکترومغناطیسی هستند که اگر به صورت ذره در نظر گرفته شوند فوتون نامیده می‌شوند. فوتون‌ها دارای جرم سکون و بار صفر هستند. رابطه بین انرژی، بسامد و طول موج λ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \quad (1-1)$$

۱-۲ برهم کنش تابش گاما با ماده

ذرات باردار به وسیله برهم کنش کولنی با تمام الکترون‌ها و هسته‌هایی که در مسیر حرکتش وجود دارد به طور پیوسته انرژی از دست می‌دهند (یونیزاسیون مستقیم). فوتون‌ها یا بدون هیچ اندرکنشی از ماده عبور می‌کنند و یا یک یا چند برهم کنش با الکترون‌ها و اتم‌های ماده جاذب انجام می‌دهد و منجر به گسیل ذرات باردار پر انرژی از ماده می‌شوند. خاصیت یونیزاسیون این تابش‌ها از تابش‌های α و β کمتر است اما دارای قدرت نفوذ بسیار بالایی می‌باشند و باعث گسیل ذرات باردار پر انرژی از ماده می‌شوند (یونیزاسیون ثانویه).

فوتون‌ها براساس میزان انرژی فرودی، برهم کنش‌های مختلفی با ماده از جمله جذب فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون، پراکندگی ریلی، فروپاشی فوتون و تولید زوج دارند.

از جمله برهم کنش‌های مهمی که در حفاظ‌گذاری اشعه گاما حائز اهمیت است می‌توان به اثر فوتوالکتریک، پدیده کامپتون و تولید زوج اشاره کرد از سایر برهم کنش‌ها به علت کوچک بودن سطح مقطع چشم پوشی می‌شود. اهمیت هریک از برهم کنش‌ها به عدد اتمی ماده برخورد کننده، چگالی و انرژی فوتون فرودی بستگی دارد.

۱-۲-۱ اثر فوتوالکتریک

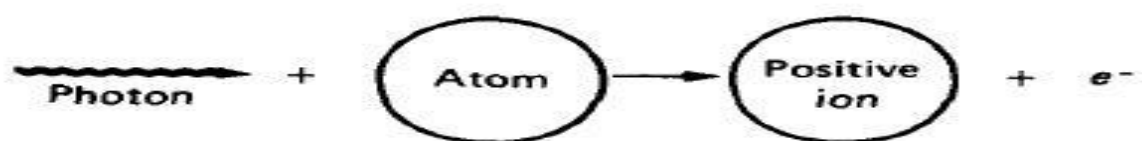
اثر فوتوالکتریک برهم‌کنشی است بین یک فوتون و یک الکترون اتمی مقید (الکترون‌های آزاد نمی‌توانند فوتون را جذب کنند و پس زده شوند). در اثر این برهم‌کنش، اگر انرژی فوتون فرودی بیشتر و یا برابر انرژی بستگی الکترون باشد فوتون انرژی‌اش را به یک الکترون مقید در اتم منتقل می‌کند و فوتون ناپدید می‌شود و الکترون به صورت یک الکترون آزاد به نام فوتوالکتریک به بیرون رانده می‌شود. [۳۱].

انرژی جنبشی الکترون آزاد شده عبارت است از:

$$T_e = E_\gamma - E_b \quad (۲-۱)$$

که E_γ انرژی فوتون و E_b انرژی بستگی الکترون است.

به دلیل عدم پایستگی انرژی و تکانه، یک الکترون آزاد نمی‌تواند فوتون را کاملاً جذب کند از این جهت فوتوالکتریک برای فوتون فرودی گرایش زیادی به اثر گذاری بر مقیدترین لایه‌های الکترونی اتم را دارد



شکل ۱-۱ اثر فوتوالکتریک [۱].

انرژی جنبشی فوتوالکتریک لایه k عبارت است از:

$$E_e = h\nu - B_k \quad (۳-۱)$$

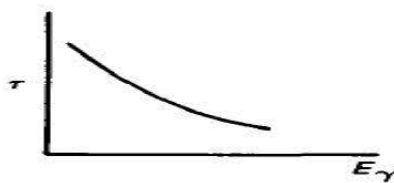
B_K انرژی یونندگی (کار لازم برای کندن از لایه K) است.

احتمال رخداد برهم‌کنش فوتوالکتریک، سطح مقطع فوتوالکتریک یا به عبارتی ضریب تضعیف فوتوالکتریک نام دارد و از معادله زیر بدست می‌آید:

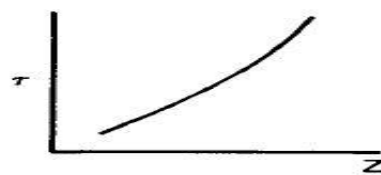
$$\tau(m^{-1}) = aN \frac{Z^n}{E_\gamma^m} \{1 - e(Z)\} \quad (۴-۱)$$

که در آن τ احتمال رخداد اثر فوتوالکتریک بر واحد راهی که فوتون می‌پیماید و a ضریبی ثابت مستقل از Z و E_γ است. احتمال وقوع پدیده فوتوالکتریک بستگی زیادی به عدد اتمی و انرژی فوتون فرودی دارد و به شکل $\frac{Z^4}{h\nu^3}$ تغییر می‌کند.

معادله سطح مقطع فوتوالکتریک نشان می‌دهد که احتمال اثر فوتوالکتریک برای موادی با Z بالاتر بیشتر است. به‌عنوان مثال احتمال اثر فوتوالکتریک برای سرب ($Z=۸۲$) نسبت به آلومینیوم ($Z=۱۳$) بیشتر است. همچنین اثر فوتوالکتریک برای $E_\gamma = ۱۰۰ \text{ keV}$ نسبت به $E_\gamma = ۵۰۰ \text{ keV}$ بیشتر است.



(ب)

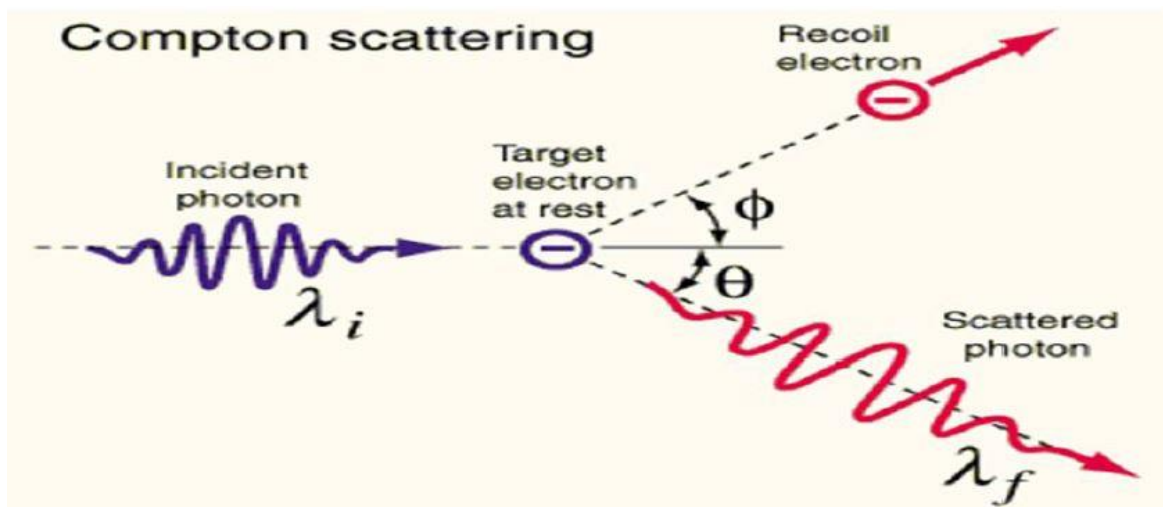


(الف)

شکل ۱-۲ وابستگی سطح مقطع فوتوالکتریک به (الف) عدد اتمی ماده و (ب) انرژی فوتون [۱].

۱-۲-۲ پراکندگی کامپتون:

فرآیند پراکندگی کامپتون برهم‌کنشی است بین فوتون و الکترون آزاد. در فرآیند پراکندگی کامپتون فوتون فرودی نابود نمی‌شود بلکه بخشی از انرژی خود را به الکترون می‌دهد. می‌توان نتیجه گرفت که انرژی فوتون پراکنده شده کم‌تر از انرژی فوتون فرودی است و الکترون دیگر ساکن نمی‌ماند] [۵۴].



شکل ۱-۳ پراکندگی کامپتون [۵].

از اصل پایستگی انرژی داریم:

$$E_{\gamma} + E_e = E_{\gamma'} + E_e' \quad (5-1)$$

از معادله پلانک داریم:

$$E_{\gamma} = hf \quad (6-1)$$

$$E_{\gamma'} = h\hat{f} \quad (7-1)$$

با فرض تقریباً ساکن بودن الکترون پیش از برخورد فوتون داریم:

$$E_e = mc^2 \quad (۸-۱)$$

$$E_{\dot{e}} = \sqrt{(p_{\dot{e}}c)^2 + (m_e c^2)^2} \quad (۹-۱)$$

همچنین از اصل پایستگی تکانه برای مولفه های طولی و عرضی تکانه داریم :

$$\frac{E_\gamma}{c} = \frac{E_{\dot{\gamma}}}{c} \cos\theta + P \cos\varphi \quad (۱۰-۱)$$

$$\frac{E_{\dot{\gamma}}}{c} \sin\theta = P \sin\varphi \quad (۱۱-۱)$$

با حل معادلات حاصل شده از قوانین بقای انرژی و تکانه، انرژی فوتون پراکنده شده عبارت است از:

$$E_{\dot{\gamma}} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{mc^2}(1 - \cos\theta)} \quad (۱۲-۱)$$

و انرژی الکترون پراکنده شده برابر است با :

$$E_e = E_\gamma - E_{\dot{\gamma}} = E_\gamma \left[\frac{\frac{E_\gamma}{mc^2}(1 - \cos\theta)}{1 + \frac{E_\gamma}{mc^2}(1 - \cos\theta)} \right] \quad (۱۳-۱)$$

از رابطه بالا می توان نتیجه گرفت که در زاویه پراکندگی نزدیک به $\theta = 0^\circ$ انرژی فوتون تغییر نمی کند و در زاویه پراکندگی $\theta = \pi$ فوتون پراکنده شده دارای کم ترین انرژی است.

$$\frac{E_\gamma}{1 + 2\frac{E_\gamma}{mc^2}} < E_{\dot{\gamma}} < E_\gamma \quad (۱۴-۱)$$

معادله تغییر طول موج فوتون برابر است با:

$$(\lambda - \lambda') = \frac{h}{m_0 c^2} (1 - \csc\theta) \quad (۱۵-۱)$$

بر اساس این رابطه فوتون هایی که تحت زاویه $\theta = 0^\circ$ پراکنده می شوند، تغییر طول موجی پیدا نمی کنند.

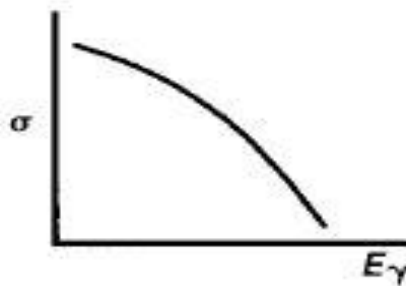
احتمال رخ دادن پراکندگی کامپتون را ضریب تضعیف کامپتون یا سطح مقطع کامپتون می نامند. ضریب پراکندگی کامپتون تابع پیچیده ای از انرژی فوتون است اما می توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$\sigma(m^{-1}) = NZf(E_{\gamma}) \quad (16-1)$$

که در آن σ معرف احتمال رخداد بر هم کنش کامتون بر واحد راه پیموده شده است و $f(E_{\gamma})$ تابعی از E_{γ} است. اگر چگالی اتم را صریحا بنویسیم معادله بالا به شکل زیر در می آید:

$$\sigma \sim \rho \frac{N_A}{A} Z f(E_{\gamma}) \sim \rho \left(\frac{N_A}{A}\right) \frac{A}{2} f(E_{\gamma}) \sim \rho \frac{N_A}{2} f(E_{\gamma}) \quad (17-1)$$

برای اکثر مواد جز هیدروژن، $A \approx 2Z$ ، براساس معادله بالا احتمال رخداد پراکندگی کامپتون تقریبا مستقل از عدد اتمی ماده است. شکل زیر نشان می دهد که چگونه به صورت تابعی از Z, E_{γ} تغییر می کند.



(ب)

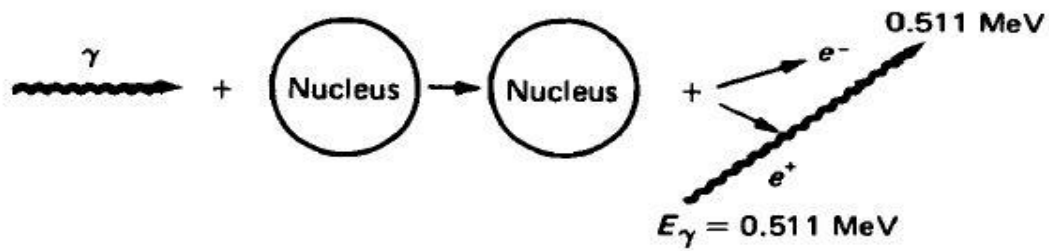


(الف)

شکل ۱-۴ نمودار وابستگی سطح مقطع کامپتون به (الف) عدد اتمی ماده (ب) انرژی فوتون [۱].

۱-۲-۳ تولید زوج:

تولید زوج عبارت است از برخورد یک فوتون انرژی با هسته. همانطور که در شکل (۱-۵) مشاهده می شود بر اثر این برهم کنش فوتون ناپدید می شود و یک زوج الکترون-پوزیترون آفریده می شود.



شکل ۱-۵ نمودار هندسی تولید زوج [۱].

الکترون دارای کوچکترین جرم غیر صفر است بر این اساس برای تولید الکترون انرژی کم تری صرف می‌شود. به علت صفر بودن بار الکتریکی و به منظور حفظ قانون بقای بار نیاز به تولید یک زوج الکترون است. زوج الکترون شامل دو ذره با بارالکتریکی مخالف است که ذره با بار مثبت پوزیترون نامیده می‌شود و به آن پاد ذره الکترون می‌گویند [۱ و ۶].

بر اساس قانون بقای انرژی کمینه انرژی مورد نیاز برای آفرینش زوج الکترون-پوزیترون در مجاورت هسته عبارت است از:

$$h\nu_{min} > 2m_0c^2 \quad (18-1)$$

اگر انرژی یک فوتون از انرژی آستانه $2m_0c^2$ بیشتر باشد، انرژی اضافی به صورت انرژی جنبشی زوج الکترون-پوزیترون ظاهر می‌شود.

$$h\nu = m^+c^2 + m^-c^2 = (m_0c^2 + E_k^+) + (m_0c^2 + E_k^-) \quad (19-1)$$

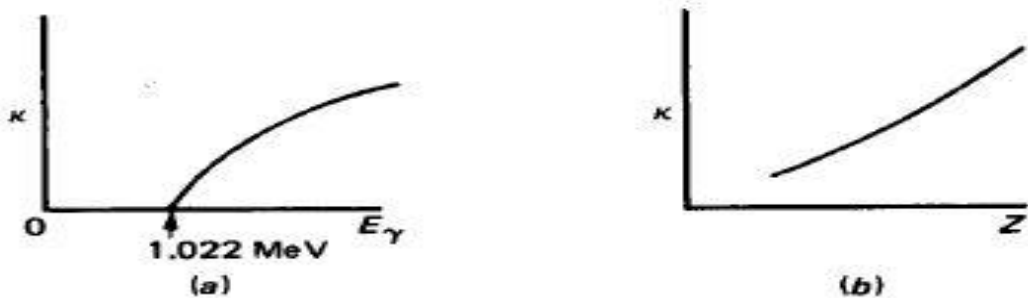
$$h\nu = 2m_0c^2 + (E_k^+ + E_k^-) \quad (20-1)$$

در این رابطه ν بسامد فوتون فرودی و E_k^+ ، E_k^- انرژی جنبشی ذرات آفریده شده است.

احتمال رخداد تولید زوج، به نام ضریب تضعیف تولید زوج و یا سطح مقطع تولید زوج از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\kappa(m)^{-1} = NZ^2(E_\gamma, Z) \quad (21-1)$$

که در آن κ احتمال رخداد تولید زوج بر واحد پیموده شده و دارای آستانه ای در $1,022$ مگا الکترون ولت است و $f(E_\gamma, Z)$ تابعی است به شکل $(\gamma-1)$ که اندکی با Z تغییر می‌کند و با افزایش می‌یابد.

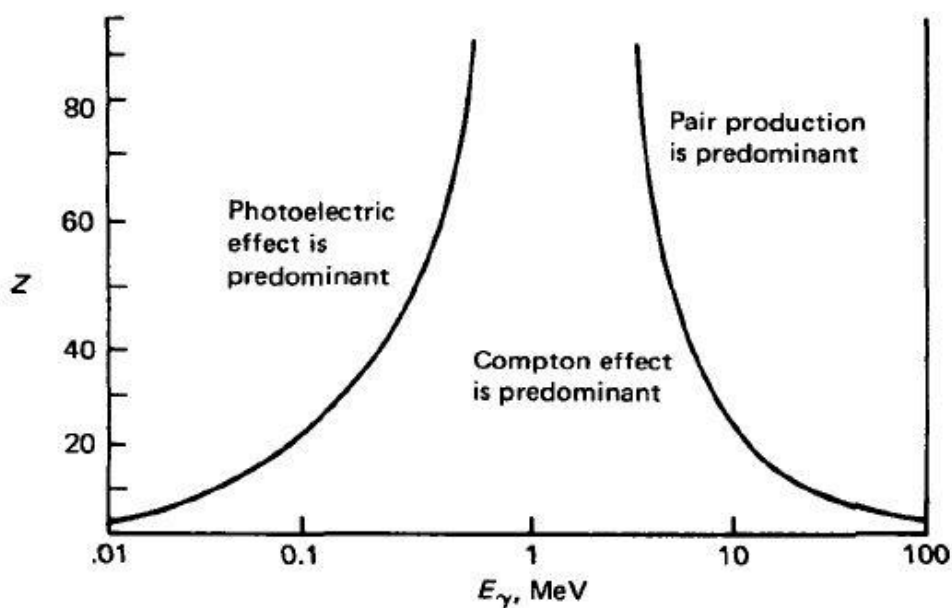


شکل ۱-۶ وابستگی سطح مقطع تولید زوج به (الف) انرژی فوتون و (ب) عدد اتمی ماده [۱].

۱-۳ سهم برهم کنش‌های گاما با ماده در تضعیف

در بین سه برهم کنش تابش گاما با ماده، فوتون‌ها در ۲ فرآیند برهم کنش فوتوالکتریک و فرآیند تولید زوج به واسطه جذب و نابودی از باریکه اصلی حذف می‌شوند و تعداد فوتون‌های فرودی به ماده پس از عبور از ماده کاهش می‌یابد. در فرآیند پراکندگی کامپتون بخشی از فوتون‌ها بر اساس زاویه پراکندگی‌شان از ماده در باریکه خروجی باقی می‌مانند و یا به واسطه پس پراکندگی جدا می‌شوند. شدت باریکه گاما به هنگام خروج از ماده به میزان تعداد فوتون‌های جذب شده و نابود شده و هم چنین فوتون‌های پس پراکنده شده از آن کاهش می‌یابد.

در محدوده انرژی‌های مختلف عمدتاً یکی از برهم‌کنش‌ها برهم‌کنش غالب است و باعث کاهش فوتون‌ها می‌شود. در محدوده انرژی کم‌تر از 0.5MeV قسمت عمده تابش مربوط به جذب فوتون در پدیده فوتوالکتریک است و در محدوده انرژی بیشتر از 1.022MeV فرآیند تولید زوج برهم‌کنش غالب است و قسمت عمده تضعیف تابش گاما به وسیله نابودی فوتون‌ها صورت می‌گیرد و در گستره انرژی بین 0.5 تا 5MeV تضعیف تابش بیشتر به واسطه پدیده کامپتون صورت می‌گیرد.



شکل ۱-۷ نمودار میزان سه اثر مهم در برهم‌کنش گاما با ماده به تناسب انرژی تابش فرودی و عدد اتمی ماده جاذب [۱].

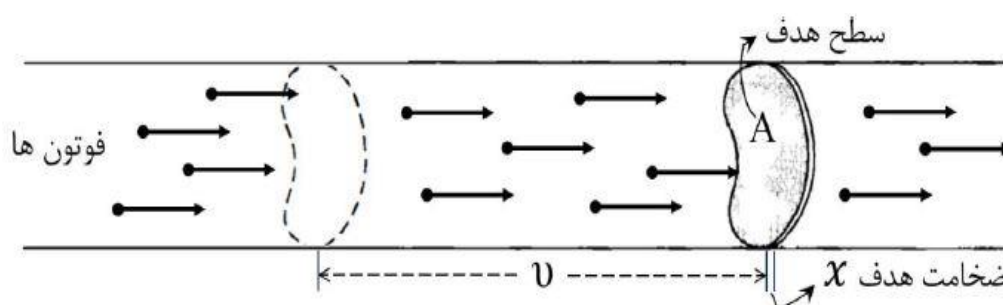
احتمال رویداد یک برهم‌کنش به وسیله سطح مقطع آن برهم‌کنش نشان داده می‌شود. سطح مقطع برهم‌کنش برای پدیده فوتوالکتریک با توان چهارم یا پنجم عدد اتمی ماده ($\sim Z^5$) و برای پدیده تولید زوج با توان دوم عدد اتمی ماده (Z^2) و برای پراکندگی کامپتون با توان اول عدد اتمی ماده (Z) متناسب است. به عبارتی می‌توان به این نتیجه رسید که مواد با عدد اتمی بالا حفاظ بهتری برای تابش محسوب می‌شوند.

۴-۱ سطح مقطع اندرکنش:

فرض می‌کنیم همانند شکل (۸-۱) که باریکه‌ای از فوتون‌های گاما به شدت I به هدفی با ضخامت x که دارای سطح مقطع A است برخورد می‌کند. تعداد کل فوتون‌هایی که در یک ثانیه به هدف برخورد می‌کنند عبارت است از:

$$\sigma INAx = \text{تعداد برخورد ها به تمام سطح هدف در یک ثانیه} \quad (۲۲-۱)$$

N چگالی اتمی ماده هدف، σ ضریب ثابت تناسب (سطح مقطع برخورد) است. به عبارتی می‌توان گفت که NAx تعداد کل اتم‌های هدف است [۷].



شکل ۸-۱ باریکه‌ای از فوتون‌های گاما که با هدف برخورد می‌کنند [۷].

همچنین رابطه بین چگالی اتمی ماده (N) و چگالی فیزیکی (ρ) به صورت زیر است:

$$N = \frac{N_a}{M} \rho \quad (۲۳-۱)$$

N_a عدد آووگادرو و M وزن اتمی (با واحد $\frac{gram}{mol}$) است.

لازم به ذکر است که در رابطه (۲۱-۱) Ax حجم هدف در معرض تابش است، پس $IN\sigma$ عبارت است از تعداد برخوردها در واحد حجم هدف در واحد زمان، که آن را چگالی برخورد می‌نامند و با نماد F معرفی می‌شود.

$$F = I \sigma N \quad (۲۴-۱)$$

از طرفی شدت باریکه فرودی برابر است با حاصل ضرب تعداد فوتون‌ها در واحد حجم (n) در سرعت فوتون‌ها (V). (۷)

$$I = nv \quad (۲۵-۱)$$

با ضرب در طرفین بالا در A می‌توان تعداد کل فوتون‌هایی را که در واحد زمان به هدف برخورد می‌کنند را بدست آورد

$$IA = NvA \quad (۲۶-۱)$$

احتمال برخورد یک فوتون از باریکه تابش با یک اتم دلخواه از ماده هدف برابر است با:

$$\frac{I\sigma}{IA} = \frac{\sigma}{A} \quad (۲۷-۱)$$

با توجه به این که هر کدام از ساز و کارهای اندرکنش گاما با ماده دارای سطح مقطع مخصوص به خود است. سطح مقطع کل اندرکنش گاما با ماده هدف عبارت است از:

$$\sigma_{total} = \sigma_{photoelectric} + \sigma_{compton} + \sigma_{pair-production} \quad (۲۸-۱)$$

سطح مقطع میکروسکوپیکی عبارت است از حاصل ضرب چگالی اتمی و سطح مقطع میکروسکوپیکی هدف. سطح مقطع میکروسکوپیکی کل عبارت است از:

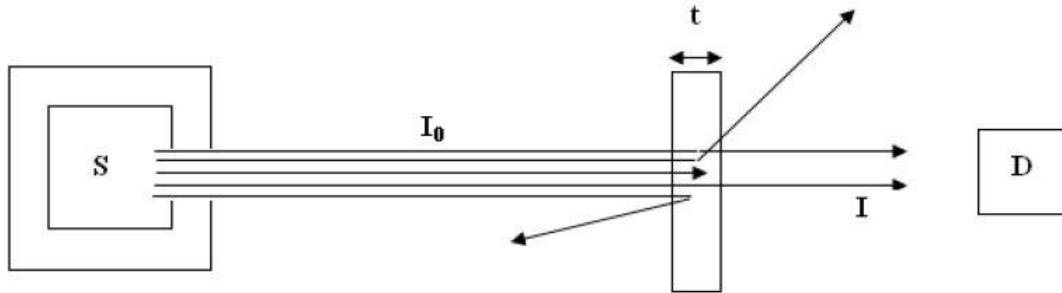
$$\Sigma = N(\tau + \sigma + \kappa) = \Sigma_{phe} + \Sigma_c + \Sigma_{pp} \quad (۲۹-۱)$$

در تعیین سطح مقطع میکروسکوپی اندرکنش، سه عامل مهم انرژی فوتون فرودی، عدد اتمی ماده هدف و چگالی جرمی ماده نقش اساس را دارند.

۱-۵ ضرایب تضعیف تابش گاما:

باریکه تک انرژی از پرتوهای گاما را در نظر گرفته که با شدت اولیه I_0 مطابق شکل به ماده‌ای جاذب با ضخامت t برخورد می‌کند. در امتداد باریکه فرودی و ماده جاذب، آشکارسازی در فاصله‌ای معین از ماده جاذب قرار گرفته است. فوتون‌های فرودی به ماده ممکن است بر اثر برهم‌کنش‌های فوتوالکتریک

و تولید زوج نابود شده و یا به واسطه پراکندگی کامپتون منحرف شده و به آشکار ساز نرسند. همچنین فوتون‌هایی که با عبور از ماده جاذب به آشکار ساز می‌رسند ممکن است هیچگونه برهم کنشی با ماده تضعیف کننده نداشته باشند.



شکل ۹-۱ باریکه تابشی I_0 به طور موازی از چشمه S خارج شده است و به ماده جاذب با ضخامت t برخورد می‌کند و شدت باقیمانده I به آشکار ساز می‌رسد.

فرض می‌کنیم که تابش فرودی پس از پیمودن فاصله x از هدف به ضخامت t برخورد و بر هم کنشی با ماده نداشته باشد و شدت آن $I(x)$ باشد. حال این پرتو فرودی پس از طی مسافت کوتاه dx در ماده با تعدادی از فوتون‌هایی که در این ضخامت قرار دارند بر هم کنش کند و باعث کاهش شدت می‌شود که این کاهش شدت به صورت زیر است:

$$-dI(x) = N\sigma_{total}I(x)dx \quad (30-1)$$

σ سطح مقطع برخورد، N چگالی اتمی ماده و \sum سطح مقطع میکروسکوپیکی ماده است. با انتگرال گیری از طرفین رابطه بالا داریم:

$$I(x) = I_0 \exp(-\sum_{total} x) \quad (31-1)$$

بر اساس رابطه بالا شدت باریکه گاما فرودی با عبور از ماده به صورت نمایی با ضخامت هدف کاهش می‌یابد و $I(x)$ شدتی است که توسط آشکار ساز اندازه گیری می‌شود.

احتمال آنکه یک فوتون از ضخامت x ماده بدون هیچ گونه بر هم کنشی عبور کند برابر است با:

$$\frac{I(x)}{I_0} = \exp(-\sum_{total} x) \quad (32-1)$$

همچنین احتمال اینکه فوتون از ضخامت X در ماده بدون هیچ برهم‌کنشی عبور کند و سپس در ضخامت dx دچار برهم‌کنش شود عبارت است از:

$$\left| -\frac{dI(x)}{I(x)} \right| = \Sigma_{total} dx \quad (33-1)$$

باضرب طرفین ۲ رابطه بالا داریم:

$$P(x)dx = \frac{I(x)}{I_0} \times \left| \frac{dI(x)}{I(x)} \right| = \exp(-\Sigma_{total} X) \Sigma_{total} dx \quad (34-1)$$

مسیر آزاد میانگین (λ) فاصله میانگین بین دو برهم‌کنش متوالی است که یک فوتون طی می‌کند و برابر است با:

$$\lambda = \int_0^{\infty} XP(x)dx = \Sigma_{total} \int x \exp(-\Sigma_{total} x) dx = \frac{1}{\Sigma_{total}} \quad (35-1)$$

۱-۵-۱ ضریب تضعیف خطی:

احتمال کل حذف یک فوتون در واحد طول ضریب تضعیف خطی (μ) نام دارد و از لحاظ فیزیکی احتمال برهم‌کنش بر واحد فاصله است. براساس قانون نمایی بیر لامبرت^۱ که معرف تضعیف یک باریکه موازی از تابش است داریم:

$$I = I_0 \exp(-\mu t) \quad (36-1)$$

که ضریب تضعیف خطی برابر است با:

$$\mu = \Sigma_{total} = N(\sigma_{phe} + \sigma_c + \sigma_{pp}) = \frac{1}{\lambda} \quad (37-1)$$

بنابراین ضریب تضعیف خطی کل برابر است با عکس مسیر آزاد میانگین.

¹Beer-Lambert

۱-۵-۲ ضریب تضعیف جرمی:

ضریب تضعیف خطی به چگالی ماده جاذب بستگی دارد و با معرفی ضریب تضعیف جرمی اثر چگالی را می‌توان از ضریب تضعیف خطی حذف کرد. ضریب تضعیف جرمی (μ_m) معرف احتمال بر هم کنش با واحد جرم ماده است از رابطه زیر بدست می‌آید:

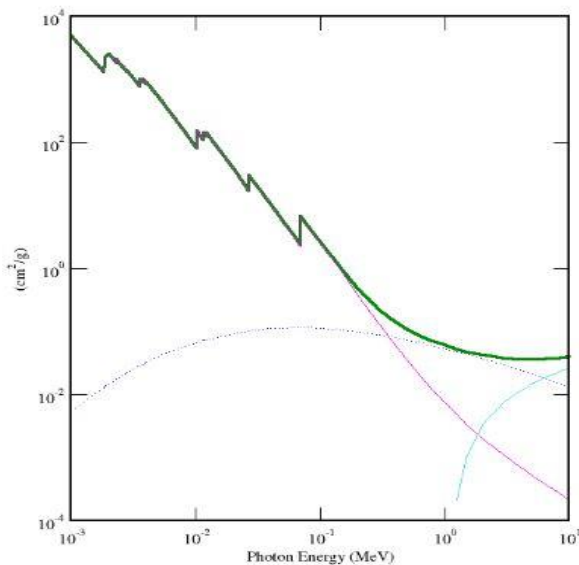
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{\lambda \rho} \quad (38-1)$$

که در این رابطه ρ چگالی حجمی ماده جاذب با یکای $\frac{cm^2}{gr}$ است. همچنین ضریب تضعیف جرمی برای یک ترکیب از رابطه زیر بدست می‌آید:

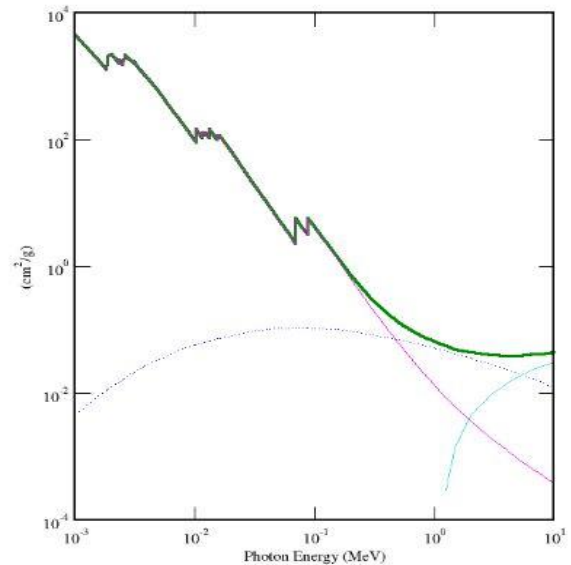
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \sum W_i \frac{\mu_i}{\rho_i} \quad (39-1)$$

در رابطه بالا W_i معرف کسر وزنی عنصر i ام درون ترکیب است.

در ادامه نمودار ضریب تضعیف جرمی برای سرب تنگستات و کادمیوم تنگستات در محدوده انرژی ۰ تا ۱۰ MeV آورده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۱-۱۰ ضریب تضعیف جرمی برای (الف) $PbWO_4$ و (ب) $CdWO_4$ [۸].

سرب :

از جمله متداول ترین موادی که به عنوان حفاظ اشعه گاما از آن استفاده می شود سرب است. سرب به علت چگالی و عدد اتمی بالایی که دارد بیشترین استفاده را در ساختمان حفاظ آشکارسازها را دارد.

فولاد:

آهن یا فولاد نیز از جمله مواد رایجی هستند که برای حفاظ گذاری پرتوهای گاما استفاده می شوند. آهن عنصری با عدد اتمی ۲۶ و چگالی $7.86 \frac{gr}{cm^3}$ است که کاربرد آن اغلب در مواردی است که ایجاد حفاظ سرب بر اساس ابعادی که مورد نیاز است بسیار گران می باشد.

بتن :

بتن به دلیل هزینه مناسبی که دارد اغلب در ساختمان حفاظ های بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند. اما به علت وجود پتاسیم ، اورانیوم و دارای فعالیت نسبتا بالایی است. بتن بیشتر در ترکیب خارجی حفاظ قرار می گیرد که به وسیله لایه های درونی از فولاد ، سرب یا دیگر مواد حفاظ گذاری با فعالیت پایین تر محافظت شده است.

تنگستن:

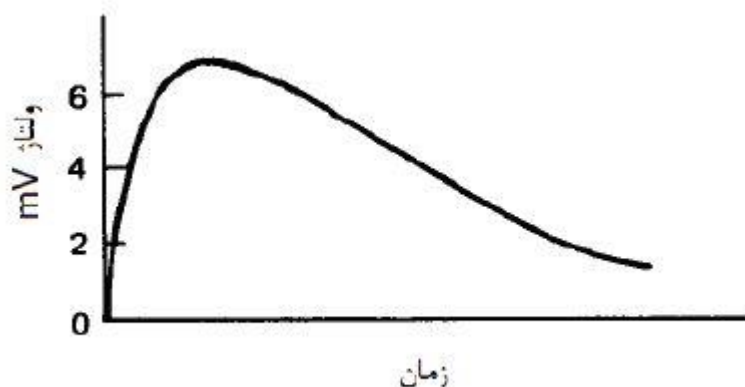
تنگستن عنصری با عدد اتمی ۷۴ و چگالی $19.25 \frac{gr}{cm^3}$ در شرایط استاندارد است و به علت عدد اتمی و چگالی بالا، از جمله موادی است که در شرایط حفاظ گذاری که نیازمند میزان بالایی از تضعیف تابش در ضخامتی محدود می باشد استفاده می شود و از لحاظ اقتصادی و کارایی مناسب است . به علت آنکه قیمت تنگستن بالغ بر سه برابر قیمت سرب است به طور معمول از تنگستن برای ساخت حفاظ های حجیم استفاده نمی شود [۱۲].

فصل دوم:

آشکار سازها

۱-۲ آشکارسازی ذرات

برای اثبات وجود تابش‌های هسته‌ای نیاز به دستگاه‌ها و وسایلی است که بتوان ویژگی‌هایی از جمله شدت، انرژی و ... تابش‌های هسته‌ای را آشکار کرد. سازوکار اغلب آشکارسازها مشابه یکدیگر است، به گونه‌ای که تابش وارد آشکارساز شده و با اتم‌های ماده آشکار ساز برهم‌کنش می‌کند و در طی این برهم‌کنش تابش، تعداد زیادی از الکترون‌های کم انرژی را از مدارهای اتمی آزاد می‌کند. پس از آزاد شدن الکترون‌ها، آن‌ها گردآوری می‌شوند و توسط مدار الکترونیکی به صورت یک تپ ولتاژ و یا جریان در می‌آیند. در شکل زیر یک پالس خروجی از آشکار ساز را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۱-۲ پالس خروجی از آشکارساز [۱].

برای آشکارسازی ذرات آلفا حاصل از واپاشی‌های رادیو اکتیو و یا ذرات باردار حاصل از واکنش‌های هسته‌ای در انرژی کم آشکارسازهای بسیار نازک کفایت می‌کند. برای آشکارسازی الکترون‌ها مشابه آن چه در تابش بتا گسیل می‌شود آشکارسازی به ضخامت 0.1 تا 1 mm لازم است و برای آشکارسازی گاما نیاز به ضخامت بیشتری است حتی ممکن است آشکارسازی به ضخامت 5 cm کافی نباشد تا فوتون‌های پرنرژی به تپ تبدیل شوند.

از جمله شرایط مهمی که هر آشکار ساز باید داشته باشد می توان به موارد زیر اشاره کرد:

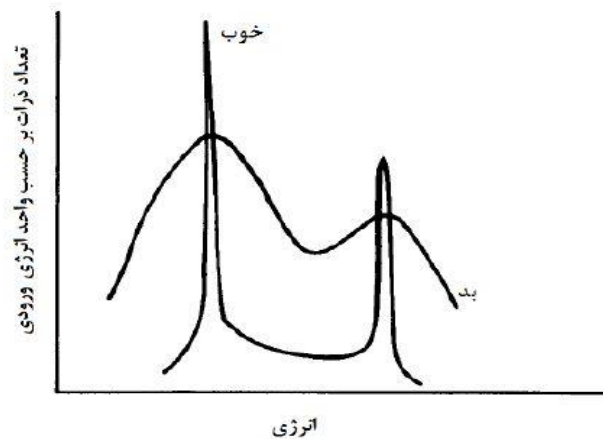
۱- به ازای هر ذره ای که وارد آشکار ساز می شود باید در خروجی یک تپ نمایان شود همچنین ارتفاع تپ حاصل باید از نوفه سیستم بیشتر باشد زیرا در غیر این صورت مانع از آشکار شدن ذره می شود.

۲- دوام تپ حاصل از ذره فرودی باید کوچک باشد . به علت آنکه آشکار ساز برای آشکار سازی ذره بعدی آماده می شود و اگر دوام تپ اول زیاد باشد و ذرات بعدی در این فاصله به آشکار ساز برسند دیگر آشکار ساز قادر به نشان دادن تپ بعدی نخواهد بود. به مدت زمانی که طول می کشد تا آشکار ساز تپ حاصل از یک ذره را تا ذره بعدی را نمایان کند زمان مرگ گفته می شود . در حد فاصل هر زمان مرگ هیچ ذره ای آشکار نمی شود . بنابراین آشکار سازی که قدرت تفکیک بالایی دارند زمان مرگ آن ها پایین است.

۳- برای اندازه گیری انرژی ذرات فرودی باید رابطه مشخصی بین ارتفاع تپها و انرژی ذرات وجود داشته باشد. برای این منظور تمام آشکار سازها را کالیبره می کنند به این معنا که رابطه ای بین ارتفاع تپهای حاصل با انرژی را مشخص می کنند.

۴- اگر دو یا چند ذره با انرژی یکسان داشته باشیم که انرژی خود را در آشکار ساز ذخیره کنند آنگاه آشکار ساز تپهایی مشابه با ارتفاعهای یکسان را نشان می دهد. به همین دلیل آشکار ساز باید قدرت تفکیک خوبی داشته باشد تا بتواند وجه تمایز بیشتری بین ذرات با انرژیهای نزدیک به هم قائل شود.

در شکل زیر می توان وجه تمایز دو توان تفکیک خوب و بد را مشاهده کرد [1].



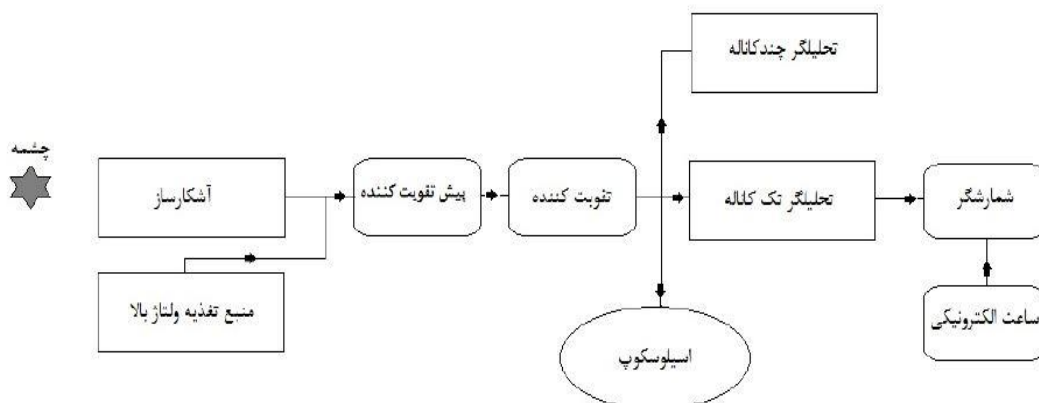
شکل ۲-۲ وجه تمایز توان تفکیک انرژی خوب و بد [۱].

لازم به ذکر ۲ نکته مهم است :

- ۱- هیچ آشکارسازی وجود ندارد که بتواند تمام شرایط بالا را هم زمان با هم داشته باشد.
- ۲- در آشکارسازهای گاما و نوترون تمام انرژی ذرات فرودی را نمی توان در آشکارساز ذخیره کرد.

۲-۲ اصول ساز و کار آشکارسازها

مدار کلی آشکارساز به صورت شکل زیر است که ادامه اجزای مختلف آن را به تفصیل معرفی می کنیم.



شکل ۲-۳ تصویری شماتیک از مدار آشکارساز [۱].

پیش تقویت کننده :

دستگاه پیش تقویت کننده دستگاهی است که تپ های به وجود آمده را بلافاصله پس از تولید تقویت می کند. بعضی از تپ ها به علت ضعیف بودن پس از گذشت مدت زمان کوتاهی میرا می شوند و با نوفه سیستم آمیخته می شود. پیش تقویت کننده هر تپی را که بیرون می آید را با یک ضریب هزار یا بیشتر تقویت می کند و سپس به تقویت کننده ارسال می کند. فاصله پیش تقویت کننده و تقویت کننده باید بسیار کم باشد تا تپ موجود دچار افت نشود.

تقویت کننده :

این دستگاه تپ هایی که از پیش تقویت کننده به آن می رسد را تقویت می کند. این دستگاه می تواند تپ های رسیده را تا ۱۰۰۰ برابر یا بیشتر تقویت کند.

تحلیلگر چند کاناله:

تحلیلگر چندکاناله دستگاهی است که تپ ها با ارتفاع های متفاوت در هر کانال ثبت می کند. ارتفاع تپ معمولا رابطه ای با انرژی ذرات دارد بنابراین هر کانال معرف ذراتی با انرژی مشخصی خواهد بود که با کالیبره نمودن دستگاه می توان رابطه ی بین شماره کانال و انرژی ذرات بدست آورد.

شمارشگر:

شمارشگر همان گونه که از اسم آن معلوم است شمارش تپ ها را بر عهده دارد. به ازای هر تپی که وارد شمارشگر می شود یک شماره به حاصل پیشین آن افزوده می شود و در پایان دوره شمارش ، تعداد تپ های ثبت شده ظاهر می شود.

۲-۳ معرفی انواع آشکارسازها:

از جمله متداول ترین آشکارسازها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- شمارنده های گازی

۲- آشکارسازهای سوسوزن

۳- آشکارسازهای نیمه رسانا

در این پایان نامه به علت استفاده از آشکارسازهای سوسوزن در ادامه به تفصیل به بررسی آن می-پردازیم.

۲-۴ سازوکار آشکارسازهای سوسوزن ها و طبقه بندی آن ها:

سوسوزن ها موادی هستند جامد، مایع ، گاز که با عبور تابش یوننده تولید نور و یا جرقه می کنند. راترفورد در سال ۱۲۸۹/۱۹۱۰ در آزمایشی که در زمینه پراکندگی ذرات آلفا بود از ماده ای به عنوان سوسوزن استفاده کرد. در این آزمایش ذرات آلفا به صفحه ای از سولفور بر خورد و تولید نور کرده و سپس شمرده می شدند.

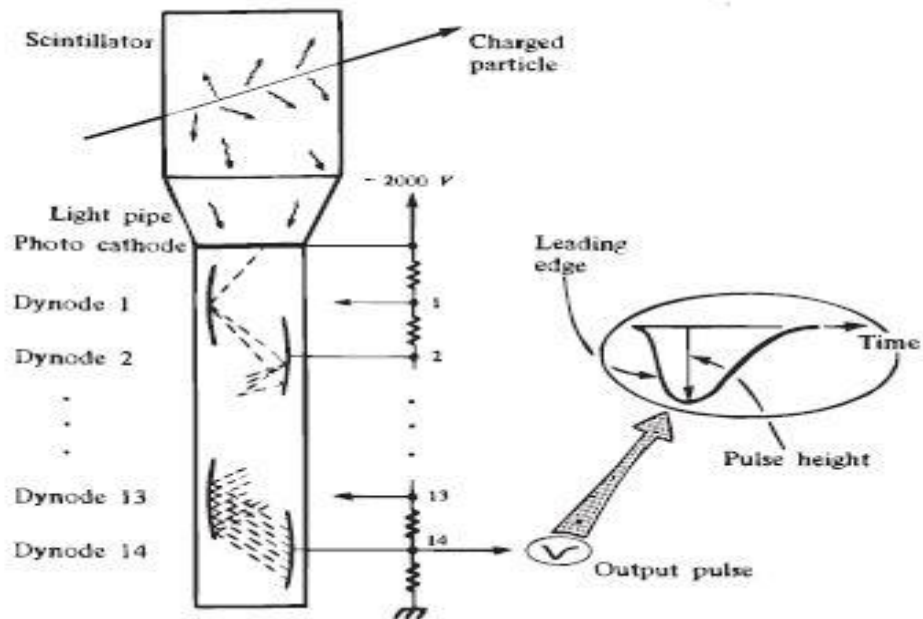
به علت ناکارا ، نادقیق و وقت گیر بودن ، این روش به مدت ۳۰ سال کنار گذاشته شد و با پیشرفت الکترونیک امکان استفاده دوباره از آن فراهم شد.

مقدار نوری که در آشکار ساز تولید می شود بسیار اندک است و برای آن که بتوان آن را به صورت یک تپ ثبت کرد نیاز به تقویت آن است. تقویت یا تکثیر نور به توسط وسیله ای به نام تکثیر کننده فوتون (phototub) صورت می گیرد. تکثیر کننده فوتون مقدار کمی از نور را دریافت می کند آن را به تپ الکترون تبدیل کرده و تا مرتبه 10^6 تقویت می کند و در خروجی یک تپ الکتریکی قوی را تولید می کند.

کار یک آشکارساز سوسوزن به ۲ قسمت اصلی زیر تقسیم می‌شود:

۱- جذب انرژی تابش یوننده به وسیله سوسوزن و تولید نور در محدوده طیف الکترومغناطیسی

۲- تقویت نور به وسیله تکثیر کننده فوتونی و تولید تپ خروجی [۱۳ و ۱۴].



شکل ۲-۴ ساختار نمونه ای از تکثیر کننده فوتون [۱۴].

۲-۴-۱ سوسوزن های غیر آلی (بلوری):

اغلب سوسوزن های غیر آلی بلورهای فلزات قلیایی به ویژه یدیدهای فلزات قلیایی هستند که مقدار

کمی ناخالصی به آنها اضافه شده است. سوسوزن های غیر آلی را عبارتند از:

۱- بلورهای نمک های قلیایی بدون فعال ساز که در دماهای پایین، سوسوزن های کارآمدی هستند

۲- بلورهای نمک های فلزات قلیایی که با ناخالصی فعال شده اند

۳- کلسیم تنگستات و کادمیوم تنگستات که در گستره محدودی مفید می باشند

۴- سوسوزن های شیشه ای غیر آلی که در آشکارسازی نوترون ها مفید می باشند

۵-سولفید روی فعال شده با نقره zns(Ag) که با وجود پودر بودن ، بازده سوسوزنی بالایی دارد و

برای آشکارسازی ذرات سنگین استفاده می شود

در جدول (۲-۲) مشخصات برخی از سوسوزن های متداول آمده است.

Eljen	Bicron	Light Output %Anthracene*	Wavelength of Max Emission (nm)	Decay Constant (ns)	Attenuation Length (cm)	Refractive Index	H/C Ratio	Density	Loading Element % by weight or dist. feature	Softening or Flash Point (°C)	Uses
Crystal											
Anthracene		100	447	30		1.62	0.715	1.25		217	
Stilbene		50	410	4.5		1.626	0.858	1.16		125	
Plastic											
EJ-212	BC-400	65	423	2.4	250	1.581	1.103	1.032		70	General purpose
EJ-204	BC-404	68	408	1.8	160	1.58	1.107	1.032	1.8 ns time constant	70	Fast counting
EJ-200	BC-408	64	425	2.1	380	1.58	1.104	1.032		70	TOF counters, large area
EJ-208	BC-412	60	434	3.3	400	1.58	1.104	1.032	Longest attn. length	70	General purpose, large area, long strips
	BC-420	64	391	1.5	110	1.58	1.100	1.032	1.5 ns time constant	70	Ultrafast timing, sheet areas
EJ-232	BC-422	55	370	1.4	8	1.58	1.102	1.032	1.4 ns time constant	70	Very fast timing, small sizes
	BC-422Q	11	370	0.7	< 8	1.58	1.102	1.032	Benzophenone, 1%	70	Ultrafast timing, ultrafast counting
	BC-428	36	480	12.5	150	1.58	1.103	1.032	Green emitter	70	Photodiodes and CCDs; phoswich detectors
	BC-430	45	580	16.8	NA	1.58	1.108	1.032	Red emitter	70	Silicon photodiodes and red-enhanced PMTs
EJ-248	BC-434	60	425	2.2	350	1.59	0.995	1.049	High temp	100	General purpose
	BC-436	52	425	2.2	NA	1.61	0.960 D:C	1.130	Deuterium, 13.8%	90	Thin disks
EJ-240	BC-444	41	428	285	180	1.58	1.109	1.032		70	Phoswich detectors for dE/dx studies
EJ-256	BC-452	32	424	2.1	150	1.58	1.134	1.080	Lead, 5%	60	X-ray dosimetry (< 100 keV)
	BC-454	48	425	2.2	120	1.58	1.169	1.026	Boron, 5%	60	Neutron spectrometry, thermal neutrons
EJ-252	BC-470	46	423	2.4	200	1.58	1.098	1.037	Air equivalent	65	Dosimetry
	BC-490	55	425	2.3		1.58	1.107	1.030	Casting resin	70	General purpose
	BC-498	65	423	2.4		1.58	1.103	1.032	Applied like paint	70	β, γ detection
Liquid											
EJ-301	BC-501A	78	425	3.2			1.212	0.874	Pulse shape discrim.	26	γ > 100 keV, fast n spectroscopy
EJ-305	BC-505	80	425	2.5			1.331	0.877	High light output	47	γ, fast n, large volume
EJ-313	BC-509	20	425	3.1			0.0035	1.61	F	10	γ, fast n
EJ-321H	BC-517H	52	425	2.0			1.89	0.86	Mineral oil-based	81	γ fast n, cosmic, charged particles
	BC-517P	28	425	2.2			2.05	0.85	Mineral oil-based	115	γ, fast n, cosmic, charged particles
EJ-325	BC-519	60	425	4.0			1.73	0.875	Pulse shape discrim.	74	γ, fast n, n-γ discrimination
EJ-331	BC-521	60	425	4.0			1.31	0.89	Gd (to 1%)	44	Neutron spectroscopy, neutrino research
EJ-339	BC-523A	65	425	3.7			1.67	0.93	Enriched ¹⁰ B	1	Total absorption neutron spectrometry
EJ-335	BC-525	56	425	3.8			1.57	0.88	Gd (to 1%)	64	Neutron spectrometry, neutrino research
	BC-533	51	425	3.0			1.96	0.8	Low temp operation	65	γ, fast n, cosmic
	BC-537	61	425	2.8			.99 (D:C)	0.954	² H	-11	Fast n, pulse shape discrimination
	BC-551	40	425	2.2			1.31	0.902	Pb (5% w/w)	44	γ, X-rays < 200 keV
	BC-553	34	425	3.8			1.47	0.951	Sn (10% w/w)	42	γ, X-rays

*NaI(Tl) is 230% on this scale

جدول ۲-۲ مشخصات برخی از سوسوزن های متداول [۱۴].

۲-۴-۲ سوسوزن های آلی:

سوسوزن های آلی، ترکیبات هیدروکربنی معطری هستند که با ساختارهای حلقه بنزنی پیوسته هستند. مهم ترین ویژگی سوسوزن های آلی ، زمان واپاشی بسیار بالای آنها است که این زمان از مرتبه چند نانوثانیه یا کمتر است [۱۴]. سوسوزن های آلی از ترکیب شدن ترکیب هایی مناسب با هم

به وجود می‌آیند و به صورت یکتایی، دوتایی، سه تایی و ... تقسیم بندی می‌شوند. ماده‌ای که دارای بالاترین غلظت است حلال و بقیه محلول هستند. یک سوسوزن دو تایی از یک حلال و یک محلول ساخته شده در حالی که یک سوسوزن سه تایی از یک حلال و یک محلول اولیه و یک محلول ثانویه تشکیل شده است.

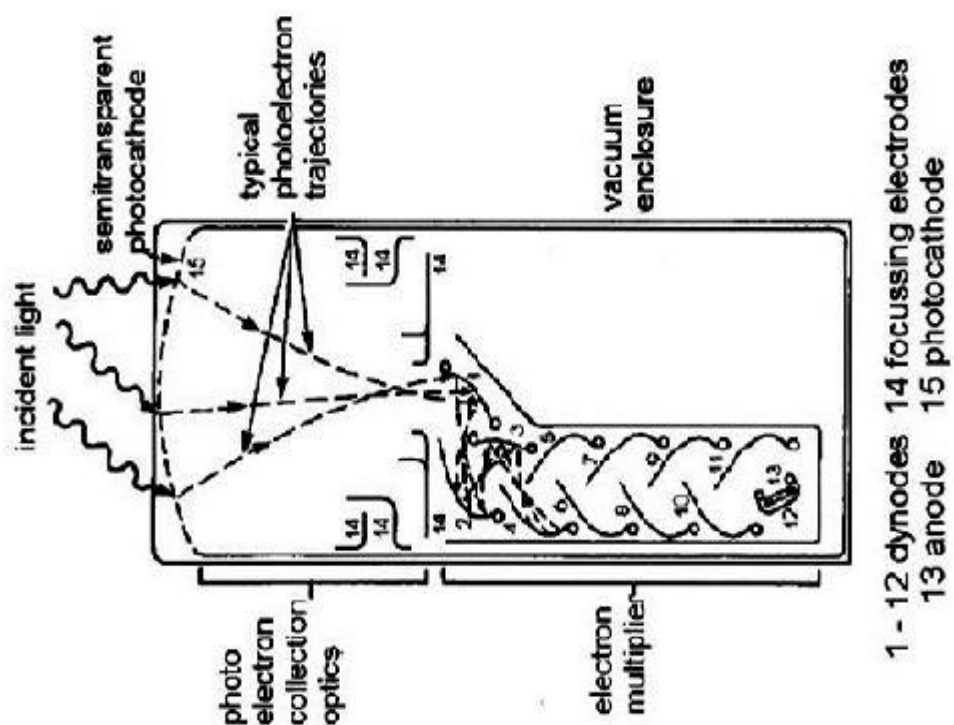
سوسوزن‌های آلی را می‌توان به صورت سوسوزن‌های آلی بلوری، سوسوزن‌های مایع آلی، سوسوزن‌های پلاستیک، سوسوزن‌های لایه نازک، سوسوزن‌های آلی غنی شده تقسیم بندی کرد [۱۶].

	Specific Gravity	Wavelength of Max. Emission	Refractive Index	Decay Time (μ s)	Abs. Light Yield in Photons/MeV	Relative Pulse Height Using Biak. PM tube	References
Alkali Halides							
NaI(Tl)	3.67	415	1.85	0.23	38 000	1.00	
CsI(Tl)	4.51	540	1.80	0.68 (64%), 3.34 (36%)	65 000	0.49	78, 90, 91
CsI(Na)	4.51	420	1.84	0.46, 4.18	39 000	1.10	92
Li(Eu)	4.08	470	1.96	1.4	11 000	0.23	
Other Slow Inorganics							
BGO	7.13	480	2.15	0.30	8200	0.13	
CdWO ₄	7.90	470	2.3	1.1 (40%), 14.5 (60%)	15 000	0.4	98-100
ZnS(Ag) (polycrystalline)	4.09	450	2.36	0.2		1.3'	
CaF ₂ (Eu)	3.19	435	1.47	0.9	24 000	0.5	
Unactivated Fast Inorganics							
BaF ₂ (fast component)	4.89	220		0.0006	1400	na	107-109
BaF ₂ (slow component)	4.89	310	1.56	0.63	9500	0.2	107-109
CsI (fast component)	4.51	305		0.002 (35%), 0.02 (65%)	2000	0.05	113-115
CsI (slow component)	4.51	450	1.80	multiple, up to several μ s	varies	varies	114, 115
CeF ₃	6.16	310, 340	1.68	0.005, 0.027	4400	0.04 to 0.05	76, 116, 117
Cerium-Activated Fast Inorganics							
GSO	6.71	440	1.85	0.056 (90%), 0.4 (10%)	9000	0.2	119-121
YAP	5.37	370	1.95	0.027	18 000	0.45	78, 125
YAG	4.56	550	1.82	0.088 (72%), 0.302 (28%)	17 000	0.5	78, 127
LSO	7.4	420	1.82	0.047	25 000	0.75	130, 131
LuAP	8.4	365	1.94	0.017	17 000	0.3	134, 136, 138
Glass Scintillators							
Ce activated Li glass ^b	2.64	400	1.59	0.05 to 0.1	3500	0.09	77, 145
Tb activated glass ^b	3.03	550	1.5	~3000 to 5000	~50 000	na	145
For comparison, a typical organic (plastic) scintillator:							
NE102A	1.03	423	1.58	0.002	10 000	0.25	

جدول ۲-۳ مشخصات برخی از سوسوزن‌های آلی [۱۴].

۵-۲ تکثیر کننده فوتون (PMT):

به علت پایین بودن پالس نوری در آشکارسازها می‌توان گفت که وجود تکثیر کننده فوتون در سوسوزن‌ها الزامی است. پالس نوری ایجاد شده در آشکارسازهای سوسوزن بسیار کوچک است، بدین منظور از تکثیر کننده فوتون که یک تقویت کننده سریع است و در بازه ی زمانی 10^{-9} ثانیه یک تپ ورودی را با ضریب 10^6 و یا بیشتر تقویت می‌کند استفاده می‌شود. تکثیر کننده فوتون از یک لامپ شیشه ای خلا و یک فوتوکاتد در ورودی و چندین داینود که در محیط داخلی آن تعبیه شده است و در انتهای آن آند وجود دارد که به عنوان گرد آورنده الکترون‌ها به کار می‌رود تشکیل شده است. به منظور حفظ شرایط خلاء داخل لوله، یک پوشش بیرونی (معمولا شیشه) به عنوان مرز فشار عمل می‌کند تا الکترون‌های کم انرژی بتوانند توسط میدان الکتریکی داخلی شتاب بگیرند [۱۴].



شکل ۵-۲ لوله تکثیر کننده فوتون (PMT) [۱].

۲-۵-۱ فوتوکاتد:

فوتوکاتد نور فرودی را در اثر پدیده فوتوالکتریک به الکترون تبدیل می‌کند. فوتوکاتدها از لایه‌ی نازکی که از ماده مخصوصی که نسبت به فوتون حساس است تشکیل شده در جدول (۲-۴) نمونه‌ای از این مواد معرفی شده است [۱۳].

Cathode type	Composition	λ at peak response [nm]	Quantum efficiency at peak
S1 (C)	Ag - O - Cs	800	0.36
S4	SbCs	400	16
S11 (A)	SbCs	440	17
Super A	SbCs	440	22
S13 (U)	SbCs	440	17
S20 (T)	SbNa - KCs	420	20
S20R	SbNa - KCs	550	8
TU	SbNa - KCs	420	20
Bialkali	SbRb - Cs	420	26
Bialkali D	Sb - K - Cs	400	26
Bialkali DU	Sb - K - Cs	400	26
SB	Cs - Te	235	10

جدول ۲-۴ برخی از مواد حساس به فوتون [۱۴].

۲-۵-۲ داینودها (قسمت چند برابر کننده ی الکترون) :

الکترون‌های گسیلی از فوتوکاتد به کمک یک میدان الکتریکی به سمت اولین داینود هدایت می‌شوند. داینودها دارای سطحی فلزی و پوشیده شده با ماده‌ای است که وقتی الکترون به آن برخورد می‌کند چندین الکترون ثانویه گسیل می‌کند. الکترون‌های ثانویه از اولین داینود به سمت داینود دوم و از آنجا به داینود سوم و الی آخر حرکت می‌کنند. تولید الکترون‌های ثانویه از داینودهای متوالی منجر به تقویت کلی تعداد الکترون‌ها می‌شود [۱].

بیشتر PMT‌ها دارای ۱۰ تا ۱۴ داینود هستند که دارای بهره ای معادل 10^7 است.

داینودهای خوب شرایط زیر را دارند:

۱- بهره بالایی برای گسیل الکترون‌های ثانویه داشته باشند

$$\delta = \frac{\text{تعداد الکترون های ثانویه}}{\text{تعداد الکترون های اولیه}} \quad (1-2)$$

۲- در مقابل گسیل الکترون های ثانویه با جریان بالا پایدار باشند

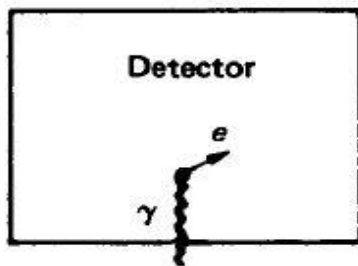
۳- گسیل نوفه ی کمی داشته باشد [۱۴].

۲-۶ طیف نگاری اشعه گاما

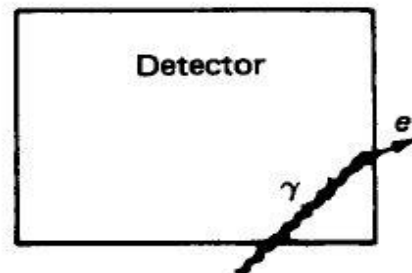
به هنگام ورود پرتو گاما به آشکارساز در آشکارساز فرآیند های مختلفی رخ می دهد که به توضیح آن ها در ادامه می پردازیم.

۲-۶-۱ قله فوتوپیک یا قله تمام انرژی

فوتون ها با انرژی کم تر از $1/0.22$ فقط به کمک اثر فوتوالکتریک و پراکندگی کامپتون می توانند برهم کنش انجام دهند. در برهم کنش فوتو الکتریک فوتون نابود می شود و یک الکترون با انرژی E ظاهر می شود که در آن B انرژی بستگی الکترون و E انرژی فوتون فرودی است. برد الکترون در یک جامد، بلور سوسوزن یا یک نیم رسانا آنقدر کوتاه است که می توان با اطمینان فرض کرد که تمام انرژی الکترون در آشکارساز ذخیره می شود. در صورتی که برهم کنش نزدیک دیواره آشکارساز رخ دهد ممکن است که الکترون بخشی از انرژی اش را در آشکارساز ذخیره کند.



ب



الف

شکل ۲-۶ در حالت (الف) بخشی از انرژی الکترون در دیواره ذخیره می شود و در حالت (ب) تمام انرژی الکترون در آشکارساز ذخیره می شود [۱].

$T_{min} = 0$ تا T_{max} توزیع می شود . سهم این الکترون ها در پاسخ انرژی آشکارساز به صورت طیف پیوسته‌ای است که به آن پیوستار کامپتون می‌گویند و انتهای پیوستار کامپتون به لبه کامپتون معروف است.

۲-۶-۳ قله تک فرار و دو فرار

اگر انرژی فوتون بیشتر از $1/0.22$ مگا الکترون ولت باشد علاوه بر پدیده فوتو الکترونیک و پراکندگی کامپتون ، پدیده تولید زوج نیز اتفاق می‌افتد. در فرآیند تولید زوج فوتون نابود می‌شود و یک زوج الکترون- پوزیترون ظاهر می‌شود . انرژی جنبشی زوج الکترون- پوزیترون برابر است با :

$$T_{e^-} + T_{e^+} = T = E - 1.022MeV \quad (2-2)$$

انرژی جنبشی زوج در آشکارساز ذخیره می‌شود و تپی با ارتفاع $T = E - 1.022MeV$ تولید می‌شود . پوزیترون در زمان کوتاهی ، کوتاه تر از زمان تشکیل تپ کند شده و به پایان بردش می‌رسد. گاهی اوقات در حین حرکت اما غالباً در انتهای مسیر خود با یک الکترون اتمی ترکیب می‌شود و هر دوی آنها نابود می‌شوند و دو گاما گسیل می‌شوند که هر کدام دارای انرژی $0.511MeV$ هستند . سرنوشت این گاماها نابودی با رخداد هایی همراه است:

۱- انرژی هر دو گامای نابودی در آشکارساز ذخیره شود . در این صورت تپی با ارتفاع متناسب با انرژی زیر تولید می‌شود:

$$(E - 1.022) + 1.022 = E$$

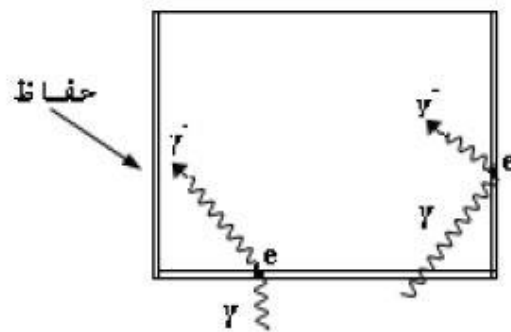
۲- هر دو گامای نابودی فرار کنند در این صورت تپی با ارتفاع متناسب با انرژی $E - 1.022MeV$ تشکیل می‌شود . قله های مربوط به این تپ را قله های دو فرار می‌نامند.

۳- یکی از فوتون‌های نابودی فرار کند (پدیده تک فرار) و تپی با ارتفاع متناسب با انرژی زیر تشکیل می‌شود.

$$T - 1.022MeV + 0.511MeV = E - 0.511MeV \quad (3-2)$$

۲-۶-۴ قله پس پراکندگی

پراکندگی کامپتون در بعضی از موارد خیلی نزدیک سطح آشکارساز یا در ماده پوشش حفاظی که آن را در بر گرفته است رخ می‌دهد (پراکندگی ممکن است در خود چشمه و یا حفاظ اطراف آشکارساز هم رخ دهد). در این صورت احتمال زیادی وجود دارد که الکترون فرار کند و فقط انرژی فوتون پراکنده شده در آشکارساز ذخیره شود.



شکل ۲-۸ پراکندگی کامپتون نزدیک دیواره [۱].

کمینه انرژی فوتون پراکنده شده از رابطه زیر بدست می‌آید

$$E_{min} = \frac{E}{1 + 2E/mc^2}$$

گاهی قله پهنی همخوان با انرژی داده شده از رابطه بالا در طیف گاما دیده می‌شود که این قله را

قله پس پراکندگی می‌نامند.

فصل سوم:

شبه سازی

۳-۱ تعریف شبیه سازی

کلمه Simulation یا شبیه سازی به معنی «عمل نائل شدن به اصل چیزی بدون واقعیت» و «نمایش کارکرد یک سیستم یا یک فرایندی به وسیله کارکرد کامپیوتر یا فرایند دیگر» آمده است [۱۷ و ۱۸].

تعریف های زیادی برای شبیه سازی وجود دارد، که در میان این تعریف ها شانون تعریفی جامع و کامل از شبیه سازی ارائه داده است او شبیه سازی را چنین تعریف می کند: "شبیه سازی عبارت از فرایند طراحی مدلی از سیستم واقعی و انجام آزمایش هایی با این مدل است که با هدف پی بردن به رفتار سیستم، یا ارزیابی استراتژی های گوناگون (در محدوده ای که به وسیله معیار و یا مجموعه ای از معیارها اعمال شده است) برای عملیات سیستم، صورت می گیرد [۱۷].

بنابراین فرایند شبیه سازی، هم شامل ساختن مدل و هم شامل استفاده تحلیلی از آن برای مطالعه یک مسئله است. توسط شبیه سازی، چنان داده هایی فراهم می آید که گویی سیستم واقعی را مشاهده کرده ایم. همچنین شبیه سازی تقلیدی از عملکرد فرایند یا سیستم واقعی با گذشت زمان است. همچنان که یک سیستم با گذشت زمان تکوین می یابد رفتار آن با ایجاد مدل شبیه سازی بررسی می شود این مدل معمولاً به شکل مجموعه ای از فرض های مربوط به عملکرد سیستم است. این فرض ها در چارچوب رابطه های ریاضی منطقی و نمادین بین نهادها یا اهداف مورد نظر سیستم بیان می شود [۱۸]. بنابراین فرایند شبیه سازی هم شامل ساختن مدل و هم شامل استفاده تحلیلی از آن برای مطالعه یک مسئله است. روش های شبیه سازی از لحاظ کم هزینه بودن، کنترل پذیر بودن و برخی مزایای دیگر نسبت به روش های آزمایشگاهی برتری دارند.

از جمله روش هایی که برای شبیه سازی وجود دارد می توان به طور عمده به سه روش کلاسیکی و چند روش کوانتومی اشاره کرد که عبارت اند از: روش دینامیک مولکولی (MD) یا شیوه علی، روش مونت

کارلو (MC) یا روش احتمالی، روش دینامیک تصادفی (SD) یا شیوه علی-احتمالی، روش مونت کارلوی کوانتومی، (QMC) روش دینامیک مولکولی آغازین (FPMD) [۱۹].

۳-۲ موارد استفاده از شبیه سازی

شبیه سازی، تکنیکی کمی است که از آن برای مطالعه و ارزیابی گزینه‌های گوناگون استفاده می‌شود. این کار، از طریق مدل سازی سیستم واقعی و اجرای آزمایشات بر روی مدل، به منظور پیش بینی رفتار آینده، سیستم امکان پذیر است. از جمله مواردی که می توان از شبیه سازی استفاده کرد می توان به ۲ مورد زیر اشاره کرد :

۱- شرایطی که تجزیه و تحلیل جبری امکان پذیر نمی باشد:

- **سیستم های غیرقطعی** : شبیه سازی، مکانیزمی منصف و سودمند را برای غلبه بر عدم اطمینان فراهم می آورد؛ بدون آنکه محدودیتی برای سیستم ایجاد کند.

- **سیستم های پویا** : رفتار سیستم در طول زمان ثابت نیست و متغیرهای اصلی موجود، همانند بهره-وری نیز در طول زمان متغیرند. برای تشخیص علت تغییرات و کنترل آن، بایستی از مدل پویا و متناسب با تغییرات، استفاده شود.

- **سیستم های پیچیده** : رفتارهای انجام شده و تصمیمات اتخاذ شده در یک مرحله از یک فرآیند، قسمت های دیگر فرآیند را به طور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تأثیر قرار می دهد و شناسایی این اثرات و علل آن، بسیار ضروری است.

۲-شرایطی که امکان آزمایش در دنیای واقعی وجود ندارد. به طور مثال :

-سیستم هنوز ایجاد نشده است.

-ریسک های زیاد و خطرناکی وجود دارد.

-هزینه آزمایش بالاست.

از جمله مواردی که امکان شبیه سازی وجود ندارد می توان به موارد زیر اشاره کرد:

-مسئله به طور کامل بررسی و مطالعه نشده است.

-هدف فرموله شده ای وجود ندارد.

-مسئله را می توان از طریق محاسبات جبری حل کرد

-هیچ دیدی نسبت به جواب های مسئله وجود ندارد.

-بهره وری سیستم بسیار بالاست و الگوی ورود نیز بی نظم می باشد.

۳-۳ روش مونت کارلو

عبارت مونت کارلو یک واژه بسیار عمومی است، روش هایی که در این گروه قرار می گیرند از فنون آمار و احتمالات کمک می گیرند این روش ها در همه علوم از جمله فیزیک هسته ای، ژنتیک و اقتصاد کاربرد دارد ، البته شیوه ای که این علوم در به کارگیری روش مونت کارلو دارند بسیار متفاوت از یکدیگر است اما همگی از اعداد تصادفی برای برای آزمون شبیه سازی یک پدیده طبیعی و حقیقی استفاده می کنند.

روش مونت کارلو (Monte Carlo method) یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه گیری تصادفی برای محاسبه نتایج استفاده می کند. روش های مونت-کارلو معمولاً برای شبیه سازی سیستم های فیزیکی، ریاضیاتی و اقتصادی استفاده می شوند.

نام واژه مونت کارلو در دهه ۱۹۴۰ (دهه ۱۳۱۰ شمسی) به وسیله فیزیکدانانی که روی پروژه ساخت یک سلاح اتمی در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس آمریکا کار می کردند رایج شده است. به طور کلی تنها یک روش مونت کارلو وجود ندارد بلکه این واژه به گستره وسیعی از روش هایی که بسیار به کار گرفته می شوند اطلاق می گردد. این روش ها از الگوی مشخص زیر پیروی میکنند:

- محدوده ای از ورودی های ممکن را تعریف می کنند
- از آن محدوده ورودی های تصادفی را تولید می کنند
- با استفاده از ورودی های بدست آمده یک سری محاسبات مشخص را انجام می دهند
- نتایج هر یک از اجراهای محاسباتی را در پاسخ نهایی ادغام می کنند

۳-۴ تاریخچه و ساختار کد mcnp

کد mcnp یکی از قویترین کدهای محاسباتی هسته ای است که براساس روش مونت کارلو کار می کند. این کد برای اولین بار در سال ۱۹۶۳ در آزمایشگاه لوس آلاموس، تحت عنوان MCS تهیه شد و در سال ۱۹۷۷ برای اولین بار با نام MCNP به بازار آمد. کد MCNPX با قابلیت های بسیار زیادی که دارد در واقع یک ماشین حساب بزرگ و قدرتمند در محاسبات هسته ای است اما صرفاً نباید از آن به عنوان یک ماشین حساب استفاده کرد بلکه نسبت به نحو انجام محاسبات و اصول و قوانین فیزیک حاکم بر آن باید دید کافی داشت. برای استفاده از این کد بایستی یک فایل ورودی با ساختار مشخص شامل اطلاعات مسئله، شامل هندسه، مواد، چشمه، نوع خروجی و غیره تهیه گردد. کد با در نظر گرفتن اطلاعات فایل ورودی و استفاده از کتابخانه سطح مقطع ها، مسئله را حل و نتایج را در

یک فایل خروجی تولید می کند. یکی از راه‌های پیدا کردن خطا در کد mcnpX استفاده از دستور رسم است و برای ترسیم هندسه نیاز به نرم افزار دیگری به نام reflectionx می‌باشد [۲۰].

کد mcnpX تقریباً در تمام مسائلی که به نوعی با انواع پرتوها سرو کار دارند از جمله موارد طراحی نوترونی راکتورهای هسته‌ای، پرتو پزشکی و فیزیک پزشکی، طراحی حفاظ، طراحی هدف در شتاب دهنده ها و سایر موارد دیگر کاربرد دارد.

۳-۴-۱ ساختار فایل ورودی

در کد MCNPX فایل ورودی یک فایل متنی می‌باشد که در نرم افزارهای ویرایش متنی مانند wordpad, textpad, notepad و ... نوشته می شود. اطلاعات مسئله از جمله هندسه، مواد، چشمه پرتو و خروجی ها در این فایل نوشته می‌شود.

هر فایل ورودی از سه بخش اصلی کارت سلول، کارت سطوح و کارت داده تشکیل شده است که هر یک از این بخش‌ها به وسیله یک خط خالی از قسمت بعدی جدا شده است .

سطر اول برنامه توسط کد خواننده نمی‌شود، خطی خالی می‌باشد می‌تواند خطی خالی باشد و یا می‌توان عنوان برنامه مد نظر در آن نوشته شود. در پایان برنامه نیز می‌توان یک خط خالی درج کرد و به طور کلی برنامه شامل ۴ خط خالی است که به کمک این خطوط خالی بخش‌های مختلف فایل ورودی (کارت سلول، کارت سطوح و کارت داده) از یکدیگر جدا می‌شوند. در نوشتن برنامه باید به این نکته توجه کرد که به جز این چهار خط خالی نباید در برنامه خط خالی دیگری وجود داشته باشد، هرگونه اطلاعاتی که پس از آخرین خط خالی موجود در انتهای برنامه نوشته شود توسط کد خواننده نمی‌شود. به منظور نوشتن توضیحات بیشتر می‌توان با قراردادن حرف C در ابتدای سطر کل آن سطر را به توضیح اختصاص داد. با قراردادن حرف C در ابتدای هر سطر آن سطر توسط برنامه

خوانده نمی‌شود. تعداد پارامترهای موجود در هر سطر برنامه نباید از ۸۰ کاراکتر بیشتر باشد، در غیر این صورت با گذاشتن علامت & در انتهای سطر، ادامه پارامترها در سطر بعد و از ستون ۶ نوشته شود.

۳-۴-۲ کارت سلول

به منظور شبیه سازی، هندسه مسئله باید به طور دقیق و با ابعاد واقعی بر حسب سانتی‌متر در فایل ورودی تعریف شود. اولین قسمت اصلی فایل ورودی کارت سلول است که شامل تعریف سلول‌های مسئله می‌باشد. منظور از سلول هر ناحیه‌ای از فضا است که توسط سطح یا سطوحی محدود شده است و به طور کلی هر سطحی فضا را به دو سلول تقسیم می‌کند که یکی مربوط به درون سطح و دیگری مربوط به خارج سطح است.

برای تعریف هر سلول در فایل ورودی به آن یک عدد پنج رقمی نسبت می‌دهیم که در ستون‌های یک تا پنج فایل ورودی نوشته می‌شود که مربوط به شماره سلول است، سپس ماده‌ای است که سلول توسط آن پر شده است نوشته می‌شود اگر سلول شامل ماده‌ای نباشد عدد صفر را درج می‌کنیم و اگر شامل ماده‌ای باشد شماره ماده و چگالی آن را با درج فاصله‌ای از هم می‌نویسیم اگر چگالی ماده مورد نظر بر حسب چگالی جرمی (g/cm^3) در برنامه نوشته شود آن را با علامت منفی و اگر چگالی بر حسب چگالی اتمی ($atom/barn.cm$) نوشته شود آن را با علامت مثبت درج می‌شود و پس از آن شماره سطوحی که سلول توسط آن ساخته شده است را در برنامه می‌نویسیم. همچنین در خط سلول می‌توان پارامترهایی از جمله حجم سلول بر حسب سانتی متر مکعب و اهمیت ذره که به دو صورت صفر و یک است را در هر سلول را تعریف کرد.

فرم کلی تعریف کارت سلول به صورت زیر است:

j m d geometry parameters

j= شماره کارت سلول

m = شماره ماده ای که سلول را پر می کند

d = چگالی ماده درون سلول (در صورتی که سلول خالی باشد مقداری نمی گیرد)

geometry = کارت مشخص کننده هندسه

Parameters = پارامتر های مشخص کننده سلول

۳-۴-۳ کارت سطوح :

هر سلول به وسیله سطوحی که آن را از سلول هلی دیگر جدا می کند مشخص می شود. به هر سطح نیز مانند سلول می توان حداکثر یک عدد پنج رقمی نسبت داد که شماره سلول را مشخص می کند. در کد mcnp می توان سطوح مختلفی از جمله کره ، استوانه، صفحه، بیضی گون و غیره را که برای شبیه سازی نیاز است را به سه روش زیر تعریف کرد:

۱- تعریف سطوح با معلوم بودن معادله ریاضی

۲- تعریف سطوح با استفاده از مختصات نقاط واقع بر آن

۳- تعریف سطوح با استفاده از کارت های ماکروبادی

۳-۴-۴ کارت داده

کارت داده سومین و آخرین قسمت از ساختار فایل ورودی است که شامل اطلاعاتی از مسئله مانند تعریف ماده ، چشمه ، خروجی، تالی ها و غیره است که هر یک به طور مختصر در زیر توضیح داده شده است .

۳-۴-۴-۱ تعریف ماده:

هر ماده‌ای که سلول را پر می‌کند و یا برای محاسبات تالی استفاده می‌شود در قسمت داده‌ها به صورت m معرفی می‌شود که m حرفی ثابت و n یک عدد حداکثر پنج رقمی است که ماده به کمک این عدد معرفی و در برنامه شناسایی می‌شود. برای تعریف هر ماده باید چگالی و درصد وزنی یا اتمی عناصری که ماده را تشکیل می‌دهد معلوم باشد.

۳-۴-۴-۲ تعریف چشمه :

هر فایل ورودی باید دارای یک چشمه ذرات باشد که با دستور SDEF تعریف می‌شود و می‌توان پارامترهایی از جمله نوع ذره، انرژی، مکان، جهت گسیل ذرات و... را برای آن تعریف کرد. برای تمام مسائل MCNP چشمه به چهار شکل تعریف می‌شود:

- چشمه های عمومی با استفاده از دستور SDEF

- چشمه های سطحی با استفاده از دستورات SSW/SSR

- چشمه های بحرانی با استفاده از دستور KCODE

- چشمه ی خاص تعریف شده توسط کاربران

چشمه های عمومی با دستور SDEF تعریف می‌شوند و ساختار آن به شکل زیر است:

SDEF source variable=specification

اگر هیچ متغیری در کارت SDEF تعریف نشود برنامه به طور پیش فرض چشمه ای نقطه ای که در مبدا مختصات با انرژی 14MeV را در نظر می‌گیریم.

متغیر	توضیحات	مقدار پیش فرض
CEL	سلولی که ذره در آن تولید می شود	باتوجه به مختصات
SUR	سطحی که ذره در آن تولید می شود	صفر
ERG	انرژی ذرات	۱۴MeV
TME	زمان تولید ذرات	۰
NRM	علامت بردار عمود بر سطح	+۱
POS	نقطه مرجع برای انتخاب مکان اولیه ذرات	۰ ۰ ۰
RAD	فاصله شعاعی ذرات نسبت به پارامتر POS یا AXS	۰
EXT	فاصله از پارامتر POS در امتداد AXS	۰
AXS	بردار مرجع برای انتخاب RAD و EXT	ندارد
X,Y,Z	مختصات محل تولید ذرات	۰
ARA	مساخت چشمه سطحی	ندارد
PAR	تعیین کننده نوع ذره	۱
WGT	وزن ذرات	۱
CCC	طرد یک سلول درون یک ناحیه	ندارد
VEC	بردار مرجع برای تعیین جهت خروج ذرات از چشمه	چشمه سطحی: بردار عمود بر سطح و چشمه حجمی: همگن
DIR	جهت اولیه جهت خروج ذرات نسبت به بردار مرجع	همگن
TR	انتقال و دوران چشمه	ندارد

جدول ۳-۱ معرفی متغیر های چشمه و مفهوم آن ها آمده است [۲۰].

۳-۴-۴-۳ تعریف خروجی ها :

به منظور محاسبه کمیت های فیزیکی مرتبط با جریان، شارو یا انرژی تخلیه شده می توان از خروجی -

های استاندارد و یا تالی ها استفاده کرد. هر تالی با تعیین نوع تالی و نوع ذره آن به صورت Fn:pl

تعریف می‌شود که n یک عدد حداکثر سه رقمی است که رقم آخر آن نوع تالی را مشخص می‌کند اضافه کردن ستاره(*) به تالی باعث ضرب تالی در انرژی (یا عدد $1/60219$ برای تبدیل واحد) می‌شود و در نتیجه یکای تالی را تغییر می‌دهد، در جدول زیر تمام تالی های قابل تعریف معرفی شده است.

F1:p1	جریان سطحی
F2:p1	شار سطحی
F4:p1	شار سلولی
F5a:n,p	شار در یک نقطه یا حلقه
F6:p1	انرژی تخلیه شده در سلول
+F6	گرمای حاصل از اندرکنش در سلول
F7:n	انرژی تخلیه شده ناشی از شکافت در سلول
F8:p1	توزیع انرژی حاصل از پالس های ایجاد شده در یک آشکارساز تابش
+F8:p1	بار تخلیه شده در سلول

جدول ۳-۲ معرفی تمام تالی های تعریف شده در کد [۲۰]mcnp.

نوع تالی	واحد F_n	ضریب F_n^*	واحد F_n^*
F1	تعداد ذره	E	MeV
F2	cm^2 /تعداد ذره	E	MeV/cm^2
F4	cm^2 /تعداد ذره	E	MeV/cm^2
F5a	cm^2 /تعداد ذره	E	MeV/cm^2
F6	MeV/g	1.60219E-22	$Jerks^*/g$
+F6	MeV/g	-	-
F7	MeV/g	1.60219E-22	$Jerks/g$
F8	تعداد پالس	E	MeV
+F8	مقدار بار	E	MeV

جدول ۳-۳ یکای تالی های مختلف [۲۰].

فصل چہارم:

نتیجہ

مقدمه:

به علت اهمیت حفاظ‌گذاری اشعه گاما در این قسمت به بررسی دو موضوع زیر پرداخته‌ایم و نتایج حاصل از شبیه سازی را با داده ها و نتایج تجربی مقایسه کرده‌ایم .

۱- محاسبه Z موثر و چگالی نمک‌های فلزی تنگستیک اسید به عنوان حفاظ گاما و مقایسه آن با ترکیبات متداول.

۲- تاثیر تابش گاما بر روی ۲ نمونه از کانی‌های سلسیت و ورقه‌ای مسی به عنوان حفاظ اشعه گاما و مقایسه آن با داده های تجربی .

لازم به ذکر است که تمام شبیه سازی ها بر اساس کد mcnp است.

محاسبه Z موثر و چگالی نمک‌های فلزی تنگستیک اسید

در این قسمت Z موثر و چگالی برخی از نمک‌های فلزی تنگستیک اسید را برای پدیده فوتوالکتریک و تولید زوج محاسبه کرده‌ایم به عنوان مثال برای نمونه $PbWO_4$ مقدار $73/84$ به دست آمد و براساس شبیه‌سازی تعداد فوتون‌های رسیده به هدف را بررسی کرده‌ایم [۲۱].

$$Z_{eff} = \sqrt[3.1]{\sum_i f_i Z_i^{3.1}}$$

(۱-۴)

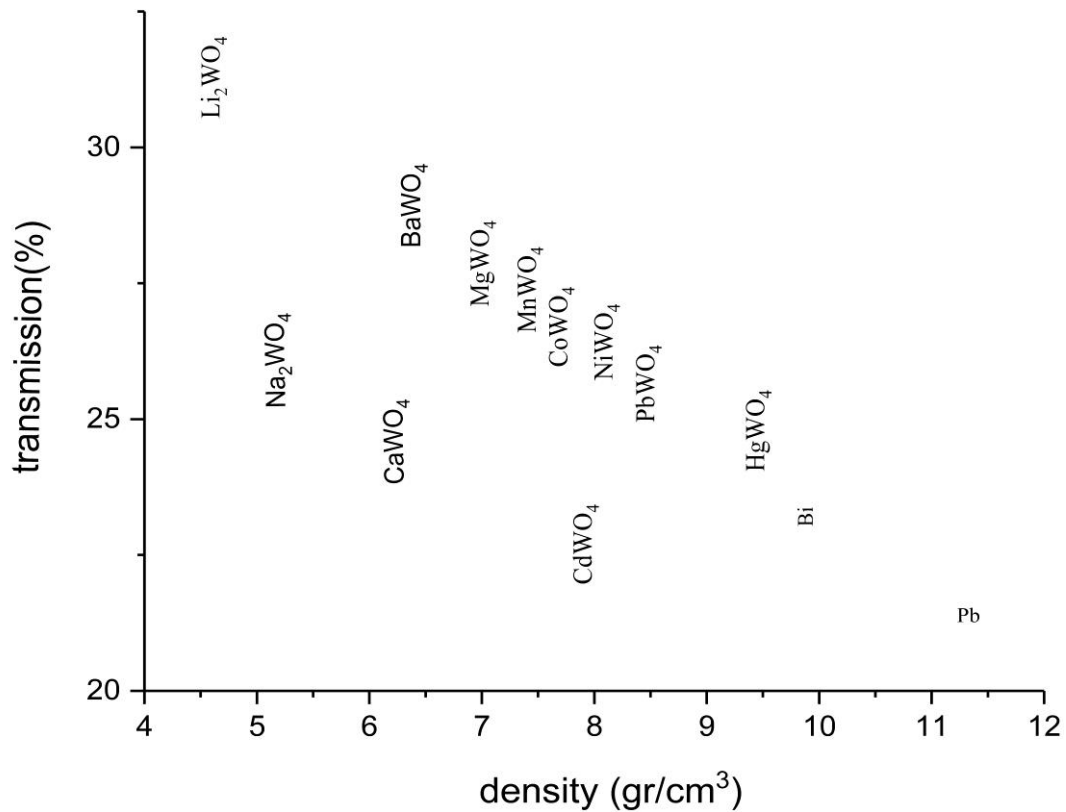
شبیه سازی انجام شده در کد MCNPX شامل سه استوانه به هم چسبیده است که شعاع هر سه استوانه برابر ۱cm در نظر گرفته شده است و چشمه استفاده شده چشمه نقطه ای گاما با انرژی ۱/۵Mev است و در فاصله ۵cm از اولین استوانه قرار گرفته است. استوانه اولی شامل نمونه‌های نمک‌های تنگستیک اسید به ضخامت ۱cm و استوانه دومی خالی به ضخامت ۶cm و استوانه سوم

شامل آب با ضخامت ۶cm می‌باشد. به منظور تعیین تعداد فوتون های رسیده به استوانه سوم محدوده انرژی را به ۱۵۲ قسمت مساوی تقسیم کرده‌ایم .

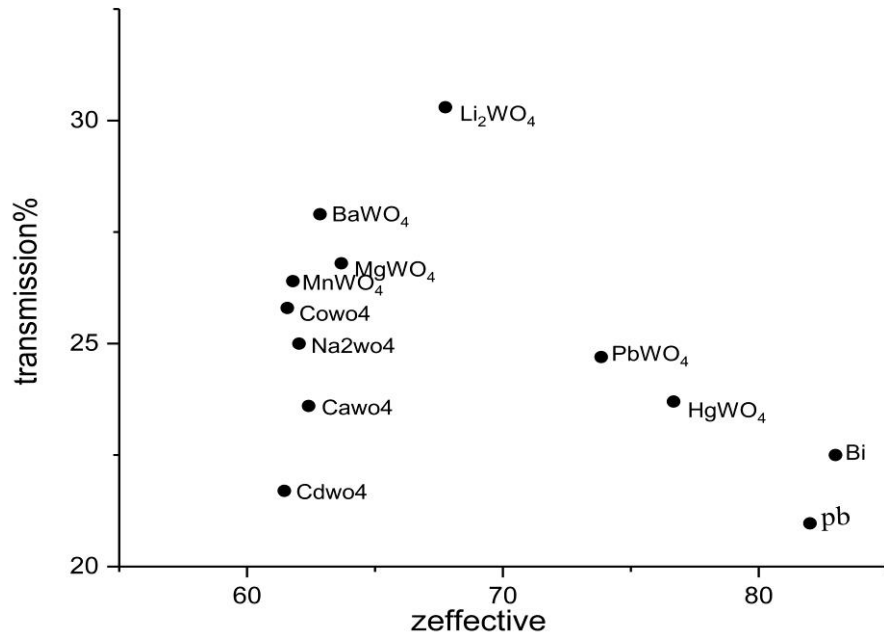


شکل ۴-۱ هندسه شبیه سازی شده بر اساس کد mcnp

در نمودارهای زیر درصد عبور تابش گاما از حفاظ‌های شامل نمک‌های تنگستیک اسید بر حسب چگالی و Z موثر با حفاظ های متداول Pb و Bi مقایسه شده است.

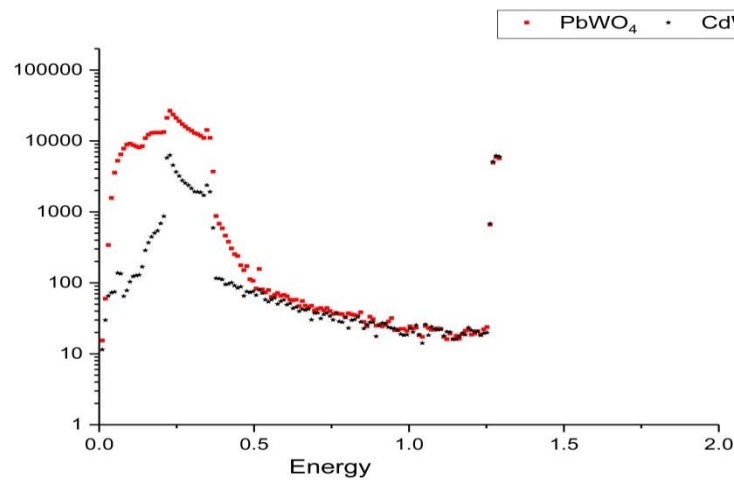


شکل ۴-۲ نمودار درصد عبور تابش گاما از حفاظ های متشکل از مواد مختلف به ضخامت ۱cm بر حسب چگالی



شکل ۳-۴ نمودار درصد عبور تابش گاما از حفاظ های متشکل از مواد مختلف به ضخامت ۱cm بر حسب Z موثر

Pb و Bi دارای بیشترین Z موثر و چگالی هستند اما در بین مواد مرکب بالا PbWO₄ دارای بیشترین Z موثر و چگالی است اما همانطور که مشاهده می شود میزان عبور PbWO₄ از CdWO₄ بیشتر است به عبارتی می توان گفت که حفاظ بهتری برای تابش گاما است. برای متوجه شدن دلیل آن طیف گامای رسیده به استوانه سوم را بر حسب انرژی با کمک تالی F2 مقایسه کرده ایم.



شکل ۴-۴ طیف فوتون های رسیده به هدف بعد از عبور از حفاظ PbWO₄ (■) و CdWO₄ (★)

نتیجه گیری :

بر اساس شبیه سازی انجام شده از میان نمک‌های تنگستیک اسید، تنگستات سرب ضمن پراکنده کردن پرتوهای گاما، طیف کم انرژی تری از طیف انرژی اولیه را می‌دهد و از نگاه دزیمتری حفاظ بهتری در برابر تابش گاما است در حالی که تنگستات کادمیوم با درصد عبور کم‌تر، تابش‌های بیشتری را حذف کرده است اما باید به این نکته توجه کرد که تابش‌های عبوری انرژی بیشتری دارند. از آن جایی که معادن نمک‌های تنگستیک اسید در ایران در مناطق حفاظت شده‌ای (محیط زیست، نظامی و...) قرار دارند و امکان دسترسی به این نمونه‌ها امکان‌پذیر نیست و همچنین نمونه‌های مصنوعی موجود بسیار گران قیمت است امکان انجام آزمایش با نمونه‌هایی از این نمک‌ها امکان‌پذیر نبود و در این قسمت فقط به بررسی داده‌های حاصل از شبیه سازی پرداختیم. در ادامه برای حفاظ گذاری از دو نمونه از کانی‌های سلسیت و ورقه‌ای مسی استفاده شده است و داده‌های حاصل از شبیه سازی را با داده‌های تجربی مقایسه کرده‌ایم.

تاثیر تابش گاما بر روی ۲ نمونه از کانی سلسیت و ورقه‌ای مسی به عنوان حفاظ اشعه گاما و مقایسه آن با داده‌های تجربی:

در این قسمت در آزمایشگاه ، آزمایشی بر روی دو نمونه از کانی‌های سلسیت و همچنین ورقه ای مسی به عنوان حفاظ اشعه گاما انجام شده است سپس به کمک شبیه سازی که براساس کد mcnp انجام شده است هندسه استفاده شده در آزمایشگاه را شبیه سازی کرده و سپس به بررسی داده‌های به دست آمده پرداخته‌ایم.

مواد استفاده شده:

چشمه سزیم ۱۳۷ چشمه سزیم ۱۳۷ یکی از منابع پرتوی گاما است که در این آزمایش از چشمه سزیم موجود در آزمایشگاه هسته‌ای استفاده شده است. چشمه در فاصله ثابت ۳cm از آشکارساز

سوسوزن قرار گرفته است . بر اساس اطلاعات چشمه و به کمک فرمول زیر اکتیویته آن را بدست آوردیم.

$$A = A_0 e^{\lambda t} \quad (۲-۴)$$

نوع چشمه	پرتوزایی	شماره سریال	تاریخ ساخت
CS-137	5.0microCi	CH75	01/01/2008

جدول ۴-۱ اطلاعات چشمه

حفاظ اشعه گاما:

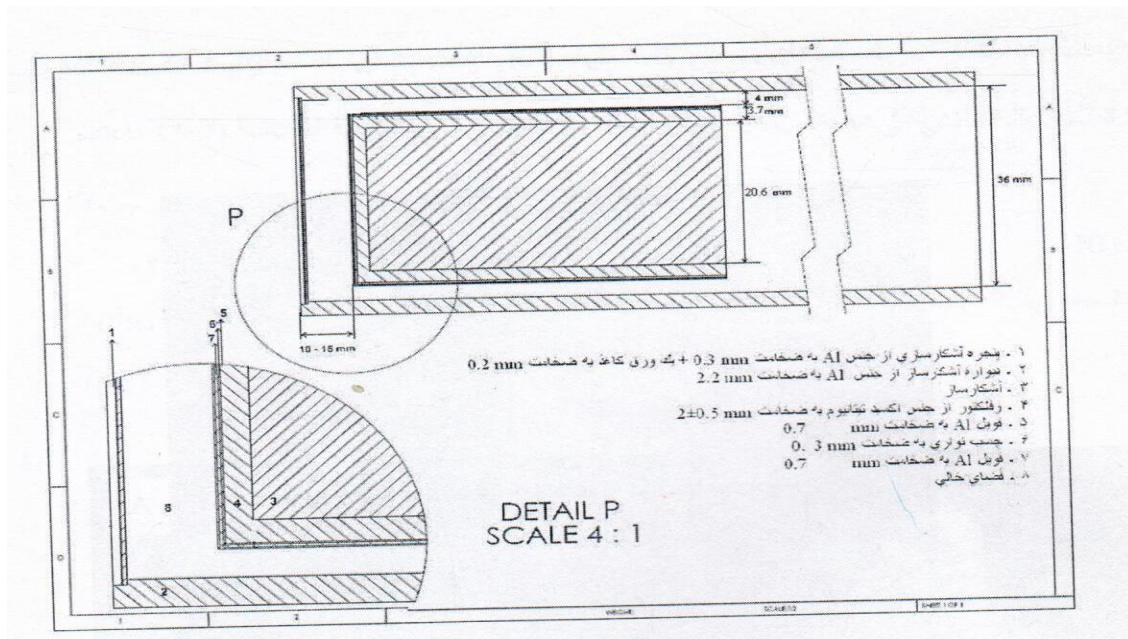
در این آزمایش به منظور حفاظ گذاری اشعه گاما از دو نمونه کانی‌های سلسیت و یک صفحه مسی استفاده شده است. کانی شماره ۱ دارای چگالی (5.38 gr/cm^3) و کانی شماره دو دارای چگالی (4.85 gr/cm^3) و صفحه مسی دارای چگالی (8.94 gr/cm^3) می باشد . هر دو این کانی‌ها ضخامتی نزدیک به 1cm دارند و ضخامت صفحه مسی تقریبا برابر با 3.9mm و ضخامت صفحه سربی 2mm است. آنالیز نمونه‌ها با دستگاه XRF۱۸۰۰ انجام شده است و اطلاعات مربوط به عناصر تشکیل دهنده این دو کانی را می‌توان در جدول زیر مشاهده کرد.

شماره نمونه	Fe2O3	MnO	TiO2	CaO	K2O	P2O5	SiO2	Al2O3	MgO	Na2O	SO3	BaO	SrO	LOi	SUM
1	0.07	0.001	0.001	0.68	0.01	0.001	0.1	0.02	0.001	0.001	22.17	0.33	76.24	0.38	99.99
2	0.19	0.02	0.01	6.49	0.07	0.001	0.82	0.21	0.26	0.001	20.44	0.42	67.23	3.84	100

جدول ۴-۲ پاسخ آنالیز دو نمونه بر حسب درصد

آشکارساز CsI(Tl)

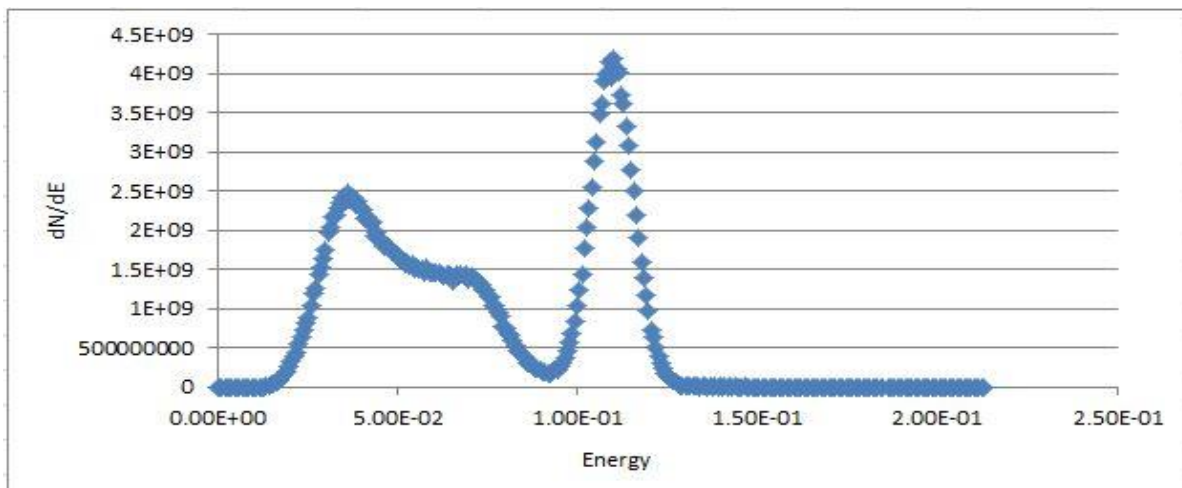
به منظور آشکارسازی پرتوهای گاما از آشکارساز سوسوزن CsI(Tl) که استوانه‌ای به ابعاد $1 \times 1 \text{ in}$ و چگالی $(4.51 \text{ gr}/\text{cm}^3)$ استفاده شده است. طیف گسیلی این آشکارساز از محدوده 420 nm تا 600 nm است و جاذب رطوبت نیست و نسبت به NaI نرم‌تر است و می‌تواند شوک‌ها، شتاب‌ها و ارتعاشات شدید و همچنین شیب‌های بزرگ و تغییرات ناگهانی دما را تحمل کند.



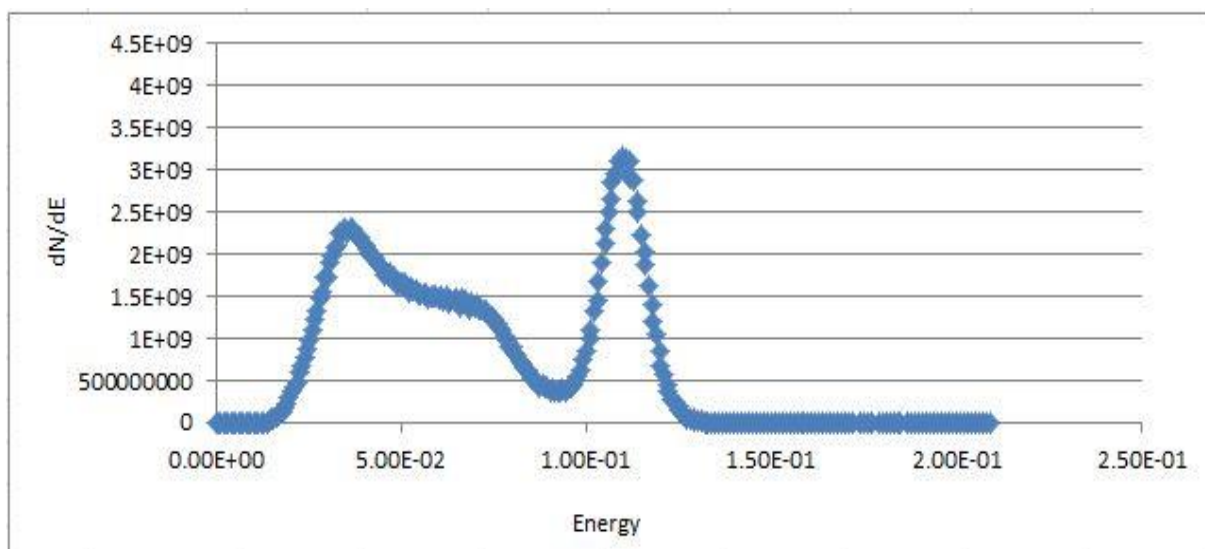
شکل ۴-۵ هندسه ی مربوط به آشکارساز مورد استفاده در تجربه

روش کار:

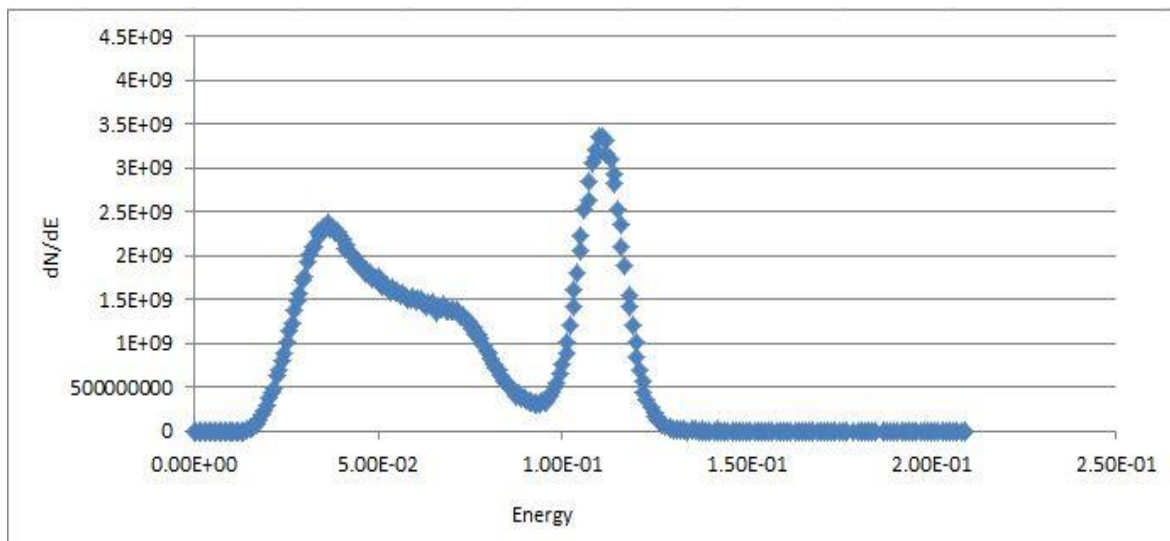
به منظور انجام آزمایش چشمه Cs137 را در فاصله ثابت 3 cm از آشکارساز سوسوزن CsI قرار داده و ولتاژ سیستم را روی 651 V و همچنین زمان را بر روی 1000 ثانیه تنظیم کردیم. ابتدا تابش پس زمینه و سپس تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز را با حضور چشمه محاسبه شد. سپس حفاظها را به ترتیب مقابل چشمه قرار داده و تعداد فوتون‌های رسیده در هر کانال ثبت شده است و از تابش پس زمینه کسر شد و سپس با ضرب تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز در اکتیویته محاسبه شده نمودارهای زیر حاصل شد.



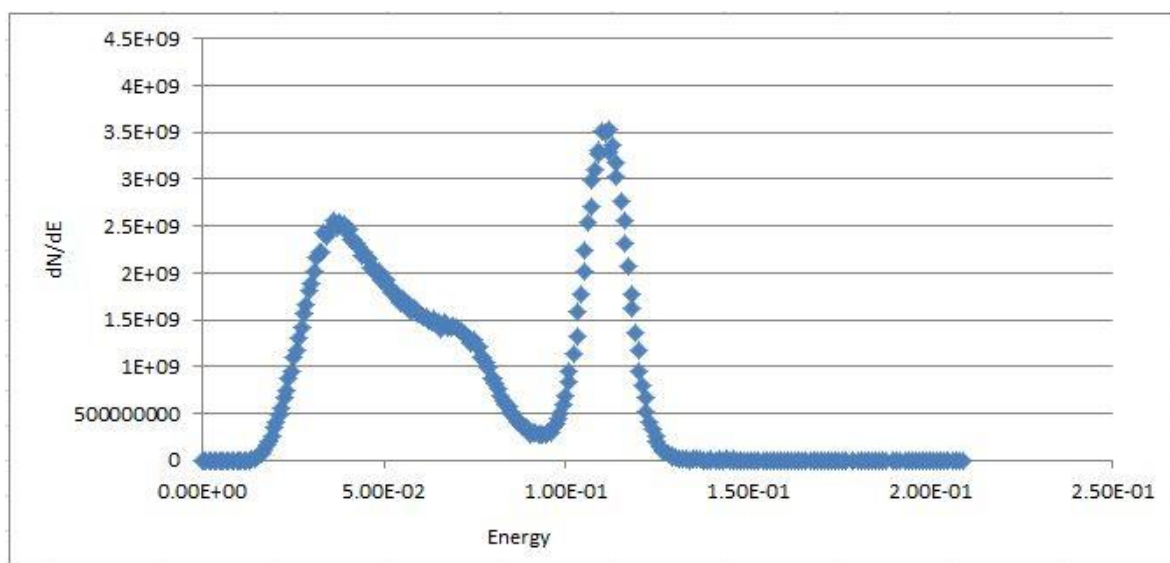
شکل ۴-۶ نمودار تعداد فوتون‌های رسیده به آشکار ساز بر حسب انرژی با حضور چشمه



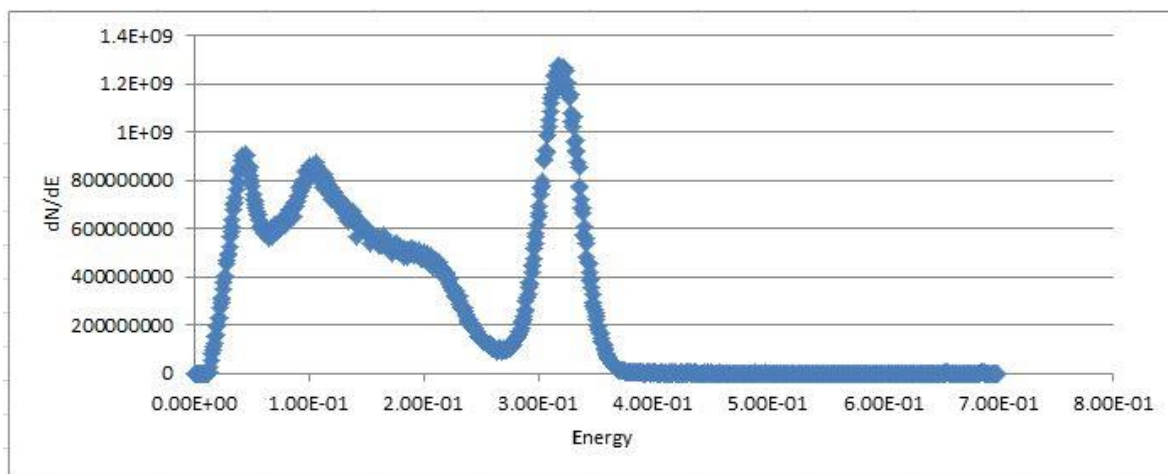
شکل ۴-۷ نمودار تعداد فوتون‌های رسیده به آشکار ساز بر حسب انرژی با حضور حفاظ شماره ۱



شکل ۴-۸ نمودار تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز بر حسب انرژی با حضور حفاظ شماره ۲



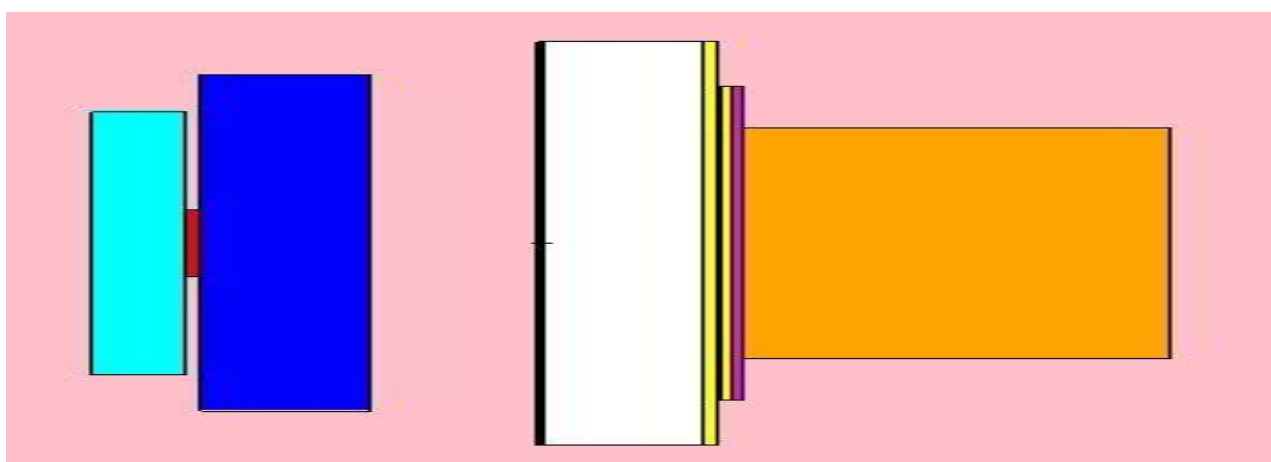
شکل ۴-۹ نمودار تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز بر حسب انرژی با حضور حفاظ ورقه مس



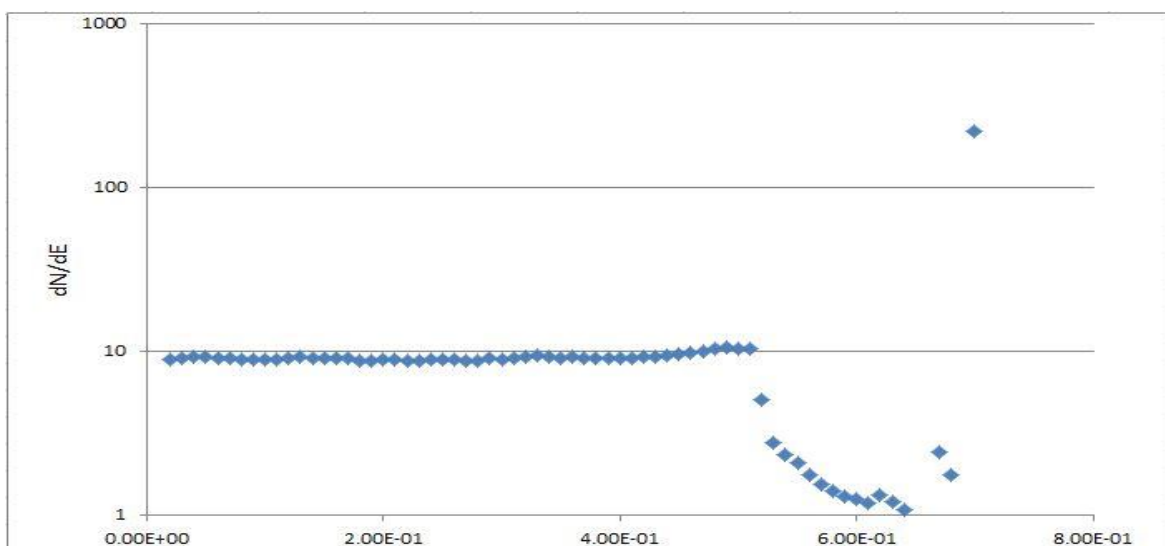
شکل ۴-۱۰ نمودار تعداد فوتون‌های رسیده به آشکار ساز بر حسب انرژی با حضور حفاظ ورقه سرب

شبیه سازی:

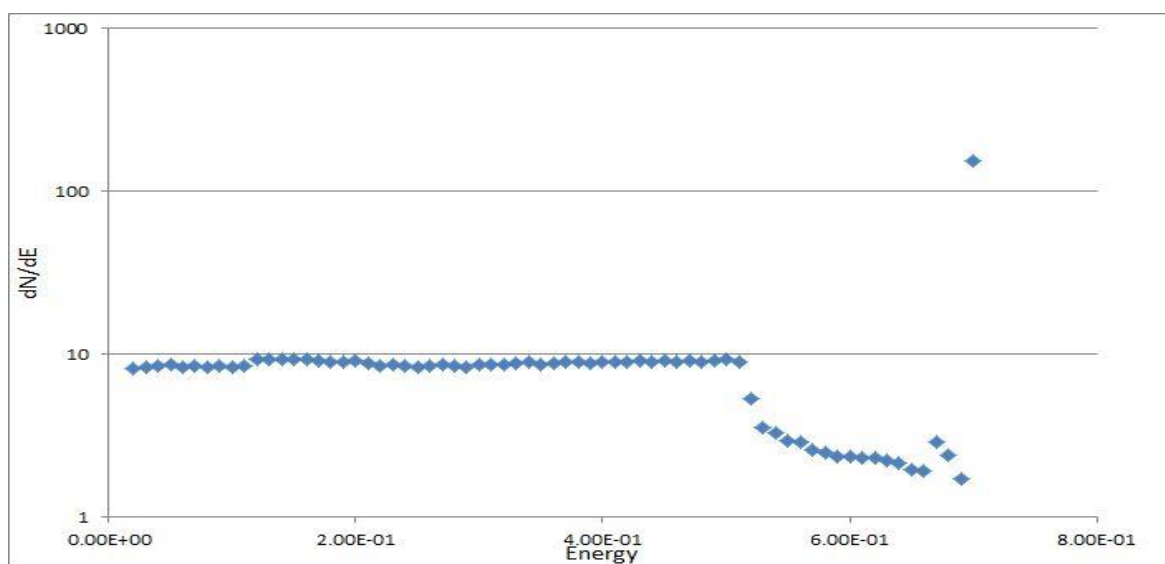
به منظور بدست آوردن داده‌های نظری به شبیه سازی آزمایش انجام شده در آزمایشگاه پرداختیم. هندسه آشکار ساز به همین صورت که در شکل (۴-۱۰) مشاهده شد شبیه‌سازی شده است و محدوده انرژی را به ۷۱ قسمت مساوی تقسیم کرده و برای بالا بردن دقت شبیه سازی nps برابر ۲۰۰ میلیون در نظر گرفته شده و به منظور شمارش تعداد پالس‌ها از تالی F8 استفاده شده است. با ضرب داده‌های بدست آمده از شبیه‌سازی در اکتیویته چشمه نتایج زیر حاصل می‌شود.



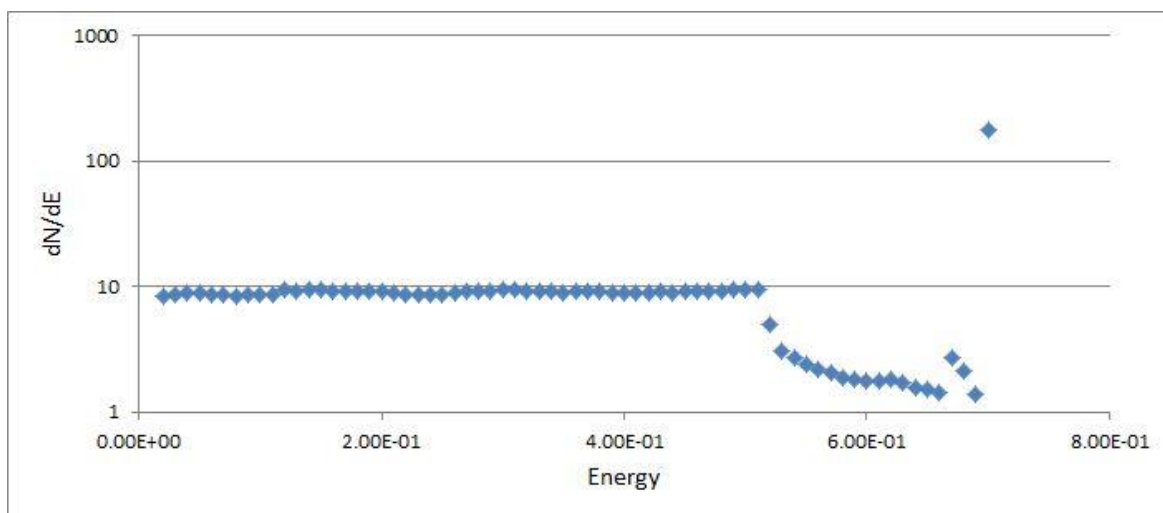
شکل ۴-۱۱ هندسه شبیه سازی شده بر توسط کد mcnp



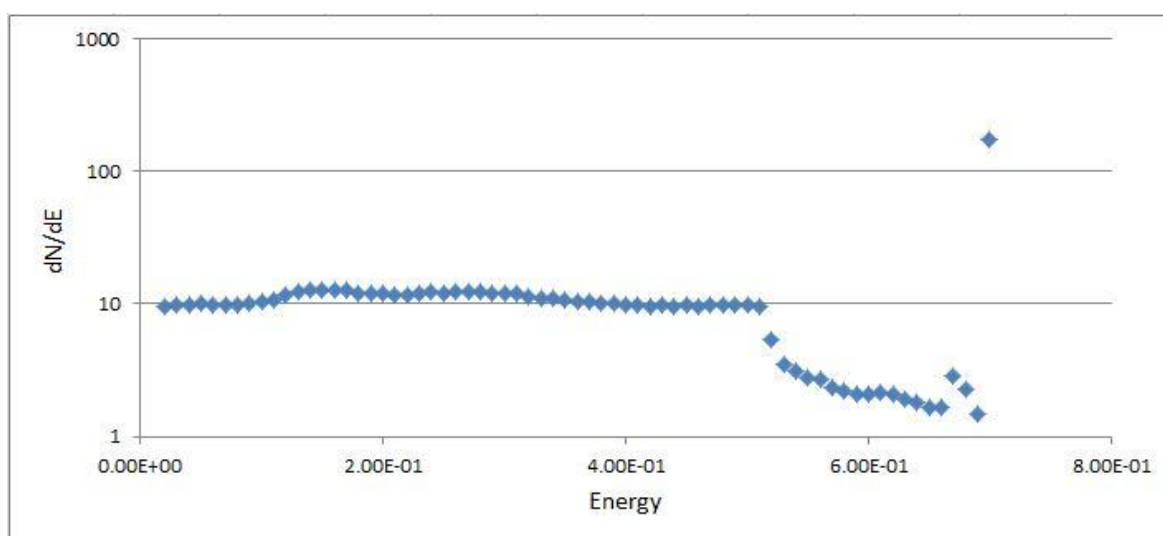
شکل ۴-۱۲ تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز بدون قرار گیری حفاظ در شبیه سازی بر حسب انرژی



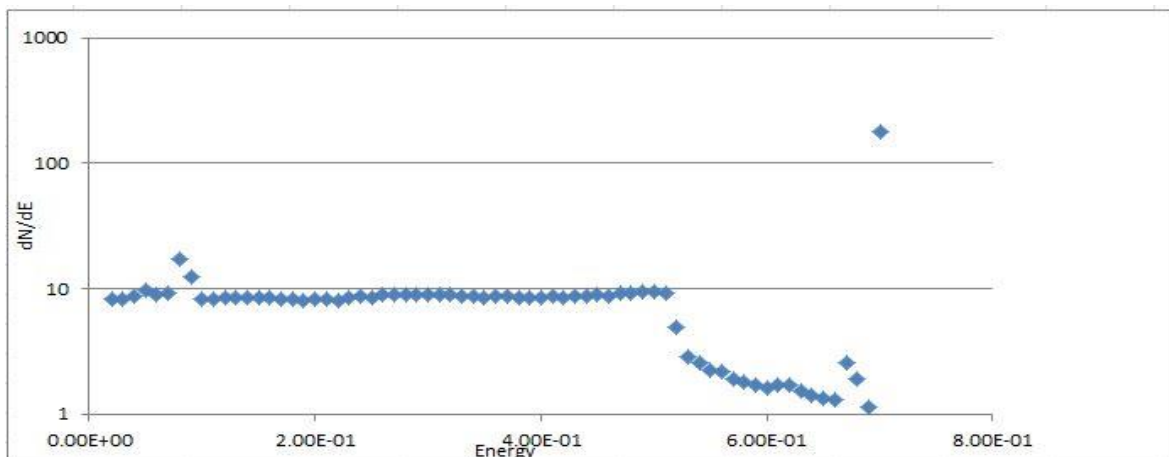
شکل ۴-۱۳ تعداد فوتون‌های رسیده به آشکار ساز با حفاظ شماره ۱ در شبیه سازی



شکل ۴-۱۴ تعداد فوتون‌های رسیده به آشکار ساز با حفاظ شماره ۲ در شبیه سازی



شکل ۴-۱۵ تعداد فوتون‌های رسیده به آشکار ساز با حفاظ ورقه مس در شبیه سازی



شکل ۴-۱۶ تعداد فوتون‌های رسیده به آشکار ساز با حفاظ ورقه سرب در شبیه سازی

در جدول زیر نسبت تعداد شمارش‌های زیر قله فوتوپیک براساس داده‌های تجربی و نسبت ارتفاع قله-های فوتوپیک شبیه سازی شده محاسبه شده است .

پارامتر A معرف مجموع تعداد شمارش‌های زیر قله فوتوپیک برحسب داده‌های آزمایشگاهی و پارامتر B معرف ارتفاع قله‌های فوتوپیک شبیه سازی شده است .

A_0 مجموع تعداد شمارش‌های زیر قله فوتوپیک بدون اعمال حفاظ

A_1 مجموع تعداد شمارش‌های زیر قله فوتوپیک با حفاظ نمونه اول از کانی سلسیت

A_2 مجموع تعداد شمارش‌های زیر قله فوتوپیک با حفاظ نمونه دوم از کانی سلسیت

A_3 مجموع تعداد شمارش‌های زیر قله فوتوپیک با حفاظ از جنس مس

A_4 مجموع تعداد شمارش‌های زیر قله فوتوپیک با حفاظ از جنس سرب

B_0 ارتفاع قله فوتوپیک شبیه سازی شده بدون اعمال حفاظ

B_1 ارتفاع قله فوتوپیک شبیه سازی شده با حفاظ نمونه اول از کانی سلسیت

B_2 ارتفاع قله فوتوپیک شبیه سازی شده با حفاظ نمونه دوم از کانی سلسیت

B_3 ارتفاع قله فوتوپیک شبیه سازی شده با حفاظ از جنس مس

B_4 ارتفاع قله فوتوپیک شبیه سازی شده با حفاظ از جنس سرب

معرفی	داده‌های شبیه سازی	داده‌های تجربی
بدون مانع	$B_0=219$	$A_0=90310703072$
حفاظ شماره ۱	$B_1=155$	$A_1=72790816534$
حفاظ شماره ۲	$B_2=178$	$A_2=75953282216$
حفاظ ورقه مس (به ضخامت 3.8mm)	$B_3 = 173$	$A_3=75939687952$
حفاظ سرب (ضخامت 2mm)	$B_4 = 181$	$A_4=81005749532$

نسبت ارتفاع قله‌های فوتوپیک شبیه سازی شده	نسبت مجموع شمارش‌های زیر قله فوتوپیک آزمایشگاهی
$\frac{B_0}{B_1}=1.4129$	$\frac{A_0}{A_1}=1.2406$
$\frac{B_0}{B_2}=1.2303$	$\frac{A_0}{A_2}=1.1890$
$\frac{B_0}{B_3}=1.26589$	$\frac{A_0}{A_3}=1.1892$
$\frac{B_0}{B_4}=1.2099$	$\frac{A_0}{A_4}=1.1148$

نتیجه گیری:

در میان کانی‌های سلسیت کانی شماره یک به علت آن که تعداد فوتون‌های کم‌تری از آن عبور می‌کند حفاظ بهتری در برابر تابش گاما محسوب می‌شود. با مشاهده درصد ترکیبات تشکیل دهنده این دو نمونه از کانی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که میزان استرانسیوم در کانی شماره یک بیشتر است.

پیوست:

پیوست الف: کد mcnpX نمک فلزی تنگستات سرب:

```
5 1 -8.41 -2
6 0 -3
7 2 1 -4
8 0 2 3 4 -1
9 0 1
```

```
1 so 20
2 rcc 1 0 0 1 0 0 1
3 rcc 2 0 0 6 0 0 1
4 rcc 8 0 0 6 0 0 1
```

```
mode p
imp:p 1 1 1 1 0
m1 82208 1 74184 1 8016 4
m2 1001 2 8016 1
m3 1001 1
m4 82206 1
sdef par=2
    erg=1.3
    pos=-5 0 0
    vec=1 0 0
    dir=1
F2:p 3.2
E2 0 150i 1.5
FM2 1e7
nps 10000000
```

پیوست ب: کد mcnpX سلسلتیت نمونه ۱:

```
1 2 -0.926 -15
2 1 -1.98 -16
3 3 -5.38477891 -17
4 4 -2.7 -18
5 5 -0.7 -19
6 0 -20
7 4 -2.7 -21
8 2 -0.926 -22
9 -2.7 -23
10 6 -4.23 -24
11 7 -4.51 -25
12 8 -0.001225 -14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
13 0 14
```

```
14 so 20
15 rcc 0 0 0 0.558 0 0 1.18
16 rcc 0.558 0 0 0.1 0 0 0.3
17 rpp 0.658 1.658 -0.72 1.58 -1.5 1.5
18 rcc 3.658 0 0 0.03 0 0 1.8
19 rcc 3.688 0 0 0.02 0 0 1.8
20 rcc 3.708 0 0 0.95 0 0 1.8
21 rcc 4.658 0 0 0.07 0 0 1.8
22 rcc 4.728 0 0 0.03 0 0 1.4
23 rcc 4.758 0 0 0.07 0 0 1.4
24 rcc 4.828 0 0 0.25 0 0 1.4
25 rcc 5.078 0 0 2.54 0 0 1.03
```

```
mode p
imp:p 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
m1 55133 1
m2 6012 2 1001 4
m3 26056 0.00076 8016 0.5570021428571429 25055 0.000005
    22048 0.00003333333333333333 20040 0.0034
    19039 0.00006666666666666667 15031 0.00000285714285714
    14028 0.0003333333333333333 13027 0.00008 12024 0.000005
    11023 0.00006666666666666667 16032 0.055425
    56137 0.00165 38088 0.3812
m4 13027 1
m5 6012 6 1001 10 8016 5
m6 22048 1 8016 2
m7 55133 1 53127
m8 7014 0.78084 8016 0.2097016 18040 0.00934 6012 0.0001104 10020
0.00000182
    2004 0.0000052
sdef par=2
    erg=0.7
```

pos=0 0 0 rad=0.3
F8:p 11
E8 0 69i 0.7
nps 200000000

- [۱] Tsoulfanidis, N.1995. *Measurment and Detection of Radation*. Washington,DC: Taylor & Francis, Inc
- [۲]Nasiru Imam Zakariya, Prof.MTE Kahn. Benefits and Biological Effects of Ionizing Radiation
- [۳]S. Gedik and A.F. Baytas. Shielding of Gamma Radiation by Using Porous Materials.
- [۴] Kouros Nozari¹ and S. Davood Sadatian. Loop Quantum Gravity Modification of the Compton Effect
- [۵] by Dr. James E. Parks The Compton Effect-Compton Scattering and Gamma Ray Spectroscopy.
- [۶]دکتر صمد راستی کردار و محمدحسین نادری(۷۷)"مبانی حفاظت در برابر پرتوها"انتشارات دانشگاه اصفهان.
- [۷] Lamarsh, J.R. and Baratta, A.J. 2001. "*Introduction to Nuclear Engineering*". Prentice-Hall Inc. Third Edition. pp. 783.
- [۸]<https://physics.nist.gov/cgi-bin/Xcom/Xcom3-1>
- [۹]Amal A. El- Sawy. Performance of Nanoparticle Materials on Radiation Shielding Properties Using Mont Carlo Method.
- [۱۰]S. Kanwaldeeo, S. Sukhpal, A. S. Dhaliwal, S. Gurmel, "Gamma Radiation Shielding Analysis of Lead-Flyash Concretes', Applied Radiation and Isotopes, 95, pp 174-179, 2015.
- [۱۱]PerkinElmerTM Life Sciences. (2002). 1220QuantulusTM . Turku, Finland: Wallac Oy.
- [۱۲] P.C. Murau ," Dissolution of Tungsten by Hydrogen Peroxide " , Analytical Chemistry , p. 1125–1126 ,(1961).
- [۱۳] William R.Leo , "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments", Second Edition, New York, Springer-Verlag, ۱۹۹۴
- [۱۴] Glen F.K.Noll. "Radiation Detection and measurment ".Johan Wiley & Sons,1989
- [۱۵] Birks,J.B.(1964). The theory and practice of scintillation *counting*.pergamon press,Inc.

[۱۶] D.H. Wikinsin, Inozation chamber and Couters (Cambridge Univercity press, Cambridge, Massachouetts, 1950).

[۱۷] شانون رابرت، علم و هنر شبیه سازی سیستم‌ها، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۱

[۱۸] اخوان، پیمان و معینی، علیرضا؛ نقش مهندسی مجدد در شبیه‌سازی سازمان، مجله تدبیر،

۱۳۸۴، شماره ۱۵۸، سال سیزدهم، ص ۱۶.

[۱۹] آشنایی با روش های شبیه سازی در فیزیک، امیر لهراسبی، امین الله واعظ، مهدی نیک عمل .

انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.

[۲۰] آموزش کد mcnp، یاسر کاسه ساز، مصطفی حسن زاده، تهران یاسر کاسه ساز، ۱۳۹۴

[۲۱] R. C. Murty, "Effective Atomic Numbers of Heterogeneous Materials", Nature

207(1965)398.

Abstract

Considering the increasing use of ionizing radiations, particularly gamma and x rays, in various fields such as medicine, industry, agriculture, etc. and given the harmful and destructive effects of these radiations protection concept has a particular importance. Radiation shields are the materials that are placed between the ionizing radiation source and the body that is supposed to be protected which reduces the amount of dose deposition in the body. Selecting the materials used as shields depends on the energy type and the radiation intensity. In some cases, due to the high volume and high cost, the use of common shields is problematic. Protection against radiation requires the use of efficient methods and design of the high-quality and cost-effective shields.

In this study, we have investigated gamma ray shielding and have studied and compared the use of metallic tungstates with conventional compounds as shields by Monte Carlo simulation using MCNPX code. Then we examined Celestite mineral, copper sheet and lead sheet as gamma ray shielding.

Keywords: gamma ray; shielding; Monte Carlo simulation; tungstic acid metal salts



**Shahrood University of
Technology**

Faculty of physics

Study of Metallic tungstic acid salts as a Gamma shield and detector

By: Sanaz Yahoozade

Supervisor:
Dr. Moslem Sohani

Jan,2019