دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم وفناوری‌های نوین

گروه مهندسی هسته‌ای

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی هسته‌ای

گرایش کاربرد پرتوها

معرفی چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی معادل با ظرف‌های مارینلی برای سهولت در به‌دست‌آوردن کارآیی آشکارساز

استادان راهنما:

دکتر سید مجتبی مستجاب‌الدعواتی

دکتر بهزاد تیموری سیچانی

پژوهشگر:

محبوبه لطفی ورنوسفادرانی

بهمن ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتـایج مطالعـات، ابتکـارات و نـوآوری هـای ناشـی از تحقیـق موضوع این پایان نامـه متعلـق بـه دانشـگاه اصفهان است.

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم وفناوری‌های نوین

گروه مهندسی هسته‌ای

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی هسته‌ای گرایش کاربرد پرتوها خانم محبوبه لطفی ورنوسفادرانی

تحت عنوان

معرفی چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی معادل با ظرف‌های مارینلی برای سهولت در به‌دست‌آوردن کارآیی آشکارساز

در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۹ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای اول پایان نامه دکتر مجتبی مستجاب‌الدعوتی با مرتبه ی علمی استادیار امضا

۲- استاد راهنمای دوم پایان نامه دکتر بهزاد تیموری با مرتبه ی علمی استادیار امضا

۳- استاد داور داخل گروه دکتر ایرج جباری با مرتبه ی علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر حسین فقیهیان با مرتبه ی علمی استاد امضا

امضای مدیر گروه

حمد و سپاس بی کران ذات معبودی را سزد که ذکرش تسلی دل عاشقان و طمانینه قلب عارفان است. آن که به قلم قدرت و به انسان کرامت بخشید و از سر لطف بی کران و رحمت بی پایان خویش این بنده حقیر را توجهی نمود و فهم قطره ای از عالم را بر او آسان ساخت.

آموزه های استادان گرانمایه ام، بسان دریایی ژرف و بی کران پیش رو و من بود و من کم توان اما تشنه، ایستاده بر کرانه ی دریا، مهر و مهارت هایشان آموزه ها را شیرین می کرد شیوه ی نوین نگاهشان مرا "به شستن چشم ها و جور دیگر دیدن" فرا می خواند، کوشیدم تا به قدر تشنگی از این دریای آموزه ها بچشم گرچه شیوه ی پاسداشت از زحمات بی دریغ و دریای لطفشان را در بیان و نوشتار نیافتم اما به جان دل سپاسمند کرامتشان، هستم، سپاس که از صمیم قلب به آستان استادان بزرگوارم جناب آقای دکتر سید مجتبی مستجاب الدعواتی و جناب آقای دکتر بهزاد تیموری تقدیم می نمایم، جاودانه و پایان ناپذیر است. ای کاش پاسخی باشد به گوشه ای از بزرگواری هایشان.

امید که قبول افتد و در نظر آید

مصبوبه لطفی

زمستان ۱۴۰۰

تقدیم به بردبار پدر گرامی‌ام

که همواره بزرگترین آموزگار صبیح زیستنم بوده و خواهد بود. دستانش را می‌بوسم و زحماتش را ارج می‌نهم باشد که نگاه مهربان او بدرقه راه زیستنم باشد.

تقدیم به زیباترین واژه زندگی‌ام مادر

که با تحمل رنج و مرارت‌های فراوان و مهربانی‌های خود راه رشد و ترقی علم در بستر آرامش را برایم فراهم نمود و نگاه چشم انتظارش امید بخش زندگی‌ام بوده و خواهد بود.

چکیده:

در پروژه‌ی فعلی آشکارساز HPGe (مدل GMX_10180) توسط کد ترابرد مونت‌کارلو MCNP5 شبیه‌سازی شد. در گام اول حجم فعال بلور ژرمانیوم آشکارساز، از روش محاسباتی به‌دست‌آمد. به این منظور بیناب چشمه‌ی نقطه‌ای کبالت-۶۰ در فواصل مختلف از آشکارساز، محاسبه و با بیناب به‌دست‌آمده از آزمایش مقایسه گردید. پس از مشاهده‌ی اختلاف بین مقادیر محاسباتی مونت‌کارلو و داده‌های تجربی، سعی شد با تغییر دادن ضخامت لایه‌ی مرده و برازش منحنی شبیه‌سازی شده با منحنی تجربی حجم حقیقی بلور، بدون در نظر گرفتن لایه‌ی مرده به‌دست‌آید.

بعد از اطمینان از خروجی آشکارساز شبیه‌سازی شده، به منظور دست‌یابی به اهداف مورد نظر این پروژه (بررسی و تصحیح تاثیر عامل خودجذبی در محاسبه‌ی بازده)، برنامه برای بیناب‌گیری‌های متعدد از چشمه‌های نقطه‌ای و حجمی در شرایط متفاوت اجرا شد. علاوه بر این بخشی از این بیناب‌گیری‌ها به طور مشابه در آزمایشگاه با آشکارساز فوق انجام شد.

در نهایت با استفاده از تلفیق نتایج شبیه‌سازی و تجربی و در کنار آن، استفاده از مفاهیمی چون مدل آشکارساز نقطه‌ای مجازی و مطرح کردن مدل جدید چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی، علاوه بر بررسی میزان تاثیرگذاری عامل خودجذبی در نتایج پرتوزایی نمونه‌های محیطی، نقش و میزان تاثیرگذاری دو عامل چگالی و نوع ترکیبات بر روی عامل خودجذبی بررسی شد. در ادامه راهکارهای بدیعی برای تصحیحات خودجذبی در مباحث بیناب‌نگاری گاما ارائه شدند. کارآیی و توانمندی هر یک از راهکارهای پیشنهادی در بوته‌ی آزمایش محک زده‌شد و به این ترتیب روش‌های جدیدی در راستای کاهش خطا در بیناب‌نگاری گامای نمونه‌های محیطی عنوان شد.

واژگان کلیدی: بیناب‌نگاری گاما، آشکارسازهای HPGe، مقیاس‌بندی بازده، تصحیح خودجذبی، MCNP، چگالی، ترکیب عنصری

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه‌ای بر آشکارسازی و بیناب‌نگاری ۱

۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ ضرایب تضعیف فوتون ۲
۱-۳ برهم‌کنش فوتون با ماده ۳
۱-۳-۱ فوتوالکتریک ۳
۱-۳-۲ پراکندگی کامپتون ۴
۱-۳-۳ تولید زوج و نابودی زوج ۵
۱-۳-۴ واکنش هسته‌ای توسط فوتون ۶
۱-۳-۵ پراکندگی تامسون ۷
۱-۳-۶ پراکندگی رالی ۷
۱-۴ ضریب تضعیف مجموع ۷
۱-۵ بیناب‌نگاری ۸
۱-۵-۱ بیناب‌نگاری پرتوهای گاما ۸
۱-۵-۱-۱ بیناب حاصل از فوتون‌هایی با انرژی کم‌تر از ۱/۰۲۲ MeV ۸
۱-۵-۱-۲ بیناب حاصل از فوتون‌هایی با انرژی بیش‌تر از ۱/۰۲۲ MeV ۱۱
۱-۶ آشکارسازها ۱۳
۱-۷ آشکارسازهای نیم‌رسانا ۱۴
۱-۷-۱ نیم‌رساناها ۱۴
۱-۷-۱-۱ نیم‌رساناهای ذاتی و غیرذاتی ۱۶
۱-۷-۱-۲ پیوند n-p ۱۶
۱-۷-۱-۳ پیوند n-p به عنوان یک آشکارساز ۱۷
۱-۷-۲ انواع مختلف آشکارسازهای نیم‌رسانا ۱۸
۱-۷-۲-۱ آشکارسازهای HPGe به عنوان بیناب‌سنج گاما ۲۰
۱-۷-۳ پیکربندی‌های مختلف آشکارسازهای نیم‌رسانا ۲۰
۱-۸ ویژگی‌های آشکارساز ۲۱
۱-۸-۱ توان تفکیک انرژی ۲۱
۱-۸-۲ بازده ۲۲

عنوان **صفحه**

۱-۸-۳ نسبت قله به کامپتون ۲۲
۱-۹ تعیین ضخامت لایه‌ی مرده ۲۳
۱-۹-۱ روش تجربی- شبیه‌سازی ۲۳

فصل دوم: مقدمه‌ای بر کد ترابرد MCNP ۲۴

۲-۱ مقدمه ۲۴
۲-۲ ترابرد ذرات توسط روش مونت‌کارلو ۲۵
۲-۳ تاریخچه کد ترابرد MCNP ۲۶
۲-۴ کد محاسباتی MCNP ۲۷
۲-۵ ساختار ورودی MCNP ۲۹
۲-۶ انواع فایل ورودی ۲۹
۲-۶-۱ اجرای اولیه ۲۹
۲-۶-۲ اجرای پیوسته ۳۰
۲-۷ اصول MCNP ۳۰
۲-۸ کمیت‌ها و واحدها ۳۱
۲-۹ تعریف سلول ۳۲
۲-۱۰ تعریف هندسه ۳۳
۲-۱۰-۱ سلول‌های تعریف شده به وسیله‌ی اشتراک مناطق فضا ۳۳
۲-۱۰-۲ سلول های تعریف شده به وسیله‌ی اجتماع مناطق فضا ۳۴
۲-۱۰-۳ عملگر تکمیل‌کننده ۳۴
۲-۱۱ تعریف سطوح ۳۴
۲-۱۲ تعریف اطلاعات ۳۶
۲-۱۲-۱ دستور تعریف نوع مساله ۳۶
۲-۱۲-۲ معرفی اهمیت نواحی ۳۶
۲-۱۲-۳ دستور تعریف مواد ۳۷
۲-۱۲-۴ چشمه‌ی ذرات ۳۷
۲-۱۲-۵ خروجی‌های کد ۴۱
۲-۱۲-۶ پایان‌دهنده‌ها ۴۲
۲-۱۲-۷ روش‌های کاهش خطا ۴۲
۲-۱۲-۷-۱ تکثیرسازی و رولت روسی ۴۲
۲-۱۲-۷-۲ پنجره وزن ۴۳
۲-۱۲-۷-۳ نابودی ذرات در مرزهای انرژی ۴۴

عنوان **صفحه**

۲-۱۲-۷-۴ برخورد واداشته ۴۵

۲-۱۲-۷-۵ افزایش تعداد ذرات چشمه در جهت معین ۴۵

فصل سوم: روند مطالعات پرتوزایی محیط و مدل‌های مرتبط با آن ۴۶

۳-۱ مقدمه ۴۶

۳-۲ مطالعات آلودگی‌های پرتوزایی محیط ۴۷

۳-۲-۱ هدف از نمونه‌برداری‌های محیطی ۴۷

۳-۲-۲ فنون و روش‌های نمونه‌برداری ۴۷

۳-۲-۳ انتخاب مکان و طرح‌های نمونه‌برداری ۴۸

۳-۲-۴ دستورالعمل‌های گوناگون نمونه‌برداری ۴۸

۳-۲-۵ انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه ۴۸

۳-۲-۶ آماده سازی نمونه‌ها ۴۸

۳-۲-۷ بسته‌بندی نمونه‌ها ۴۹

۳-۲-۸ مراجع استاندارد ۴۹

۳-۳ عامل‌های مهم در اندازه‌گیری تابش‌ها ۴۹

۳-۳-۱ آثار هندسی- زاویه فضایی ۵۰

۳-۳-۲ آثار چشمه ۵۰

۳-۳-۲-۱ ضریب خودجذبی چشمه (f_a) ۵۰

۳-۳-۳ آثار آشکارساز ۵۱

۳-۴ بازده آشکارساز(ε) ۵۲

۳-۴-۱ تعیین تجربی بازدهی تمام انرژی آشکارساز ۵۲

۳-۴-۲ نکاتی راجع به منحنی بازده- انرژی تجربی ۵۳

۳-۴-۳ بررسی رفتار بازدهی تمام انرژی آشکارساز در انرژی‌های گوناگون ۵۵

۳-۵ مدل آشکارساز نقطه‌ای مجازی ۵۶

۳-۵-۱ مفهوم آشکارساز نقطه‌ای مجازی ۵۶

۳-۵-۲ مدل نقطه مجازی در محاسبه بازده برای فواصل مختلف چشمه- آشکارساز هم‌محور ۵۷

۳-۵-۳ پیشینه تاریخی مدل آشکارساز نقطه‌ای مجازی ۵۹

۳-۶ مدل چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی ۶۰

۳-۷ چکیده‌ای از روش و ارائه‌ی راهکار کلی ۶۱

فصل چهارم: آزمایش‌ها ونتایج ۶۴

۴-۱ مقدمه ۶۴

عنوان **صفحه**

۴-۲ تجهیزات آزمایشگاهی ۶۶
۴-۲-۱مشخصات آشکارساز و حفاظ مربوطه ۶۶
۴-۲-۲ معرفی چشمه‌های نقطه‌ای ۶۶
۴-۲-۳ معرفی چشمه‌های حجمی ۶۷
۴-۳ شبیه‌سازی آشکارساز ۶۸
۴-۳-۱ تعریف گاوسی قله‌ها ۶۹
۴-۳-۲ تعیین حجم فعال بلور ۶۹
۴-۴ بررسی تأثیر چگالی و ترکیبات در مسئله‌ی خودجذبی ۷۳
۴-۴-۱ برپایی تجربی ۷۴
۴-۴-۲ شبیه‌سازی ۷۵
۴-۴-۲-۱ شبیه‌سازی برای چگالی‌های مختلف ۷۵
۴-۴-۲-۲ شبیه‌سازی برای ترکیبات مختلف و چگالی یکسان ۷۶
۴-۴-۳ یافته‌ها و بحث ۷۹
۴-۴-۴ نتیجه‌گیری در رابطه با تأثیر ترکیبات و چگالی بر خودجذبی ۸۰
۴-۵ شبیه‌سازی‌ها و محاسبات مورد نیاز برای ارائه‌ی راهکارها ۸۰
۴-۵-۱ شبیه‌سازی ۸۰
۴-۵-۱-۱ شبیه‌سازی برای چشمه‌های نقطه‌ای ۸۰
۴-۵-۱-۲ شبیه‌سازی برای چشمه‌های مارینلی ۸۱
۴-۵-۱-۳ شبیه‌سازی برای چشمه‌ی مارینلی حاوی خلاء ۸۳
۴-۵-۱-۴ نکات شبیه‌سازی ۸۳
۴-۶ محاسبه‌ی پرتوزایی چشمه‌ها به روش معمول در آزمایشگاه و برآورد خطا ۸۳
۴-۶-۱ محاسبه بازده-انرژی (به روش تجربی) ۸۳
۴-۶-۲ محاسبه‌ی پرتوزایی در آزمایشگاه ۸۴
۴-۷ ارائه‌ی راهکارها ۸۷
۴-۷-۱ راهکار: به‌کارگیری تابع سه بعدی بازده-انرژی-چگالی(راهکار رویه) ۸۷
۴-۷-۲ محاسبات روش ۸۸
۴-۷-۳ کاربردی شدن روش در آزمایشگاه ۹۵
۴-۷-۴ حالت دوم راهکار رویه ۹۵
۴-۷-۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از راهکار رویه ۹۶
۴-۸ راهکار: استفاده از مدل چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی برای حذف خودجذبی ۹۸
۴-۸-۱ اصول و مراحل روش ۹۸

عنوان **صفحه**

۴-۸-۱-۱ محاسبه‌ی بازده- انرژی بر اساس مدل چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی ۹۸
۴-۸-۲ کاربردی شدن روش در آزمایشگاه ۱۰۲
۴-۹ راهکار: محاسبه‌ی ضرایب تصحیح خودجذبی (راهکار مرجع) ۱۰۴
۴-۹-۱ برپایی تجربی ۱۰۵
۴-۹-۲ شبیه‌سازی ۱۰۵
۴-۹-۳ یافته‌ها و بحث ۱۰۶
۴-۹-۴ محاسبه‌ی عامل خودجذبی با مرجع حاوی خلاء ۱۰۹
۴-۹-۵ نتیجه‌گیری راهکار مرجع ۱۱۰
۴-۹-۶ اصول و مراحل به‌کارگیری روش در آزمایشگاه ۱۱۰
۴-۱۰ تذکرات ۱۱۱

۴-۱۱ نتایج کلی ۱۱۲

پیوست‌ها ۱۱۴

پیوست الف ۱۱۴
منحنی‌های فاصله(چشمه-آشکارساز) برحسب شمارش زیر قله و روابط برازش شده بر آن‌ها ۱۱۴
پیوست ب ۱۱۵
نتایج XRF: مربوط به خاک تشکیل دهنده‌ی چشمه‌های مارینلی مورد مطالعه ۱۱۵
نتایج XRF نمونه‌ی حاوی خاک مزرعه با کد Nm ۱۱۵
نتایج XRF نمونه‌ی حاوی خاک معمولی نوشهر با کد Kh ۱۱۶
نتایج XRF نمونه‌ی حاوی خاک کوه با کد Koh ۱۱۷
نتایج XRF نمونه‌ی حاوی شن ساحل با کد Ns ۱۱۸
پیوست ج ۱۱۹
مقایسه‌ی بازده تجربی و بازده حاصل از مدل چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی ۱۱۹
پیوست د ۱۲۰
بازده تجربی نمونه‌ی مرجع با چگالی $(\frac{gr}{cm^3})$ ۱.۱۳۷ ..... ۱۲۰

منابع و مآخذ: ۱۲۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(۱-۱): پدیده فوتو الکتریک ۴

شکل(۱-۲): پدیده کامپتون ۴

شکل(۱-۳): پدیده تولید زوج.....۵

شکل (۱-۴): پدیده نابودی زوج ۶

شکل(۱-۵): نمودار ضرایب تضعیف فوتون برای مواد مختلف برحسب انرژی فوتون تابشی ۸

شکل(۱-۶): برهم‌کنش فوتوالکتریک و ذخیره‌ی انرژی در آشکارساز ۹

شکل(۱-۷) A) بیناب چشمه تک انرژی B) بیناب ثبت شده در آشکارساز درغیاب افت و خیز آماری. ۱۰

شکل(۱-۸): بیناب چشمه در حضور افت و خیز آماری ۱۰

شکل (۱-۹): بیناب گامایی که قله‌های تک- فراری و دو- فراری را نشان می‌دهد. ۱۲

شکل(۱-۱۰): حرکت الکترون‌ها در نوار رسانش و ظرفیت در اثر برخورد ذرات پر انرژی ۱۵

شکل (۱-۱۱): پیوند $p-n$ (الف) بدون پتانسیل بیرونی. (ب) با پیش ولت وارون ۱۷

شکل (۱-۱۲): یک پیوند $p-n$ با پیش ولتاژ وارون به عنوان یک آشکارساز.....۱۸

شکل(۱-۱۳): پیکربندی‌های مختلف آشکارسازهای Ge و $Ge(Li)$ ۲۰

شکل(۱-۱۴): مقایسه‌ی بیناب آشکارساز سوسوزن و نیم‌رسانا ۲۱

شکل(۱-۱۵): مقایسه‌ی نسبت قله به کامپتون ۲۲

شکل(۲-۱): تعریف هندسه در MCNP ۳۳

شکل (۳-۱): نموداری برای محاسبه‌ی خودجذبی چشمه ۵۱

شکل (۳-۲): تغییرات منحنی بازده-انرژی با تغییر فاصله‌ی چشمه‌ی نقطه‌ای از سطح آشکارساز. ۵۴

. شکل(۳-۳): منحنی بازدهی تمام انرژی آشکارساز در انرژی‌های مختلف ۵۶

شکل(۳-۴): نمایی از چشمه‌ی نقطه‌ای و نقطه‌ی مجازی درون بلور ۵۷

شکل(۴-۱): نمای نزدیک و دور آشکارساز شبیه‌سازی شده به همراه حفاظ اطراف آن و چشمه‌ی مارینلی..۶۸

عنوان **صفحه**

شکل (۴-۲): مقایسه‌ی بیناب تجربی کبالت-۶۰ با بیناب شبیه‌سازی معادل آن، به ازای ضخامت‌های لایه مرده شامل: ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ میلی‌متر ۷۰

شکل (۴-۳): مقایسه‌ی بیناب کبالت-۶۰ حاصل از شبیه‌سازی با بیناب تجربی معادل آن، به ازای ضخامت‌های متفاوت لایه‌ی مرده شامل: ۲، ۲/۲، ۲/۴، ۲/۶، ۲/۸ و ۳ میلی‌متر. ۷۱

شکل (۴-۴): مقایسه‌ی بیناب کبالت-۶۰ حاصل از شبیه‌سازی با بیناب تجربی معادل آن به ازای لایه‌ی مرده‌ای به ضخامت ۲/۸ میلی‌متر. ۷۲

شکل (۴-۵): مقایسه‌ی بیناب چشمه‌ی مارینلی حاوی خاک کوه حاصل از شبیه‌سازی با بیناب تجربی معادل آن به ازای لایه‌ی مرده‌ای به ضخامت ۲/۸ میلی‌متر. ۷۳

شکل (۴-۶): برشی از بیناب تجربی حاصل از چشمه‌های مارینلی هم هندسه با پرتوزایی‌های یکسان وخودجذبی‌های متفاوت. ۷۴

شکل (۴-۷): شمارش زیر قله برای چشمه‌های مارینلی با ترکیب یکسان و چگالی‌های متفاوت، حاصل شبیه‌سازی با کد MCNP. ۷۶

شکل (۴-۸): گردآوری بیناب‌های حاصل از MCNP برای چشمه‌های مارینلی با چگالی یکسان $(\frac{gr}{cm^3})$ ۱/۱۳۷ و Z متفاوت (Z=۹۰-۱۰). ۷۷

شکل (۴-۹): شمارش زیر قله برای چشمه‌های مارینلی با چگالی یکسان $(\frac{gr}{cm^3})$ ۱/۲ و ترکیبات متفاوت (Z=۱۰-۹۰) حاصل شبیه‌سازی با کد MCNP. ۷۸

شکل (۴-۱۰): منحنی فاصله از کپ آشکارساز برای چشمه‌ی نقطه‌ای سزیم-۱۳۷ برحسب شمارش با استفاده از شبیه‌سازی ۸۱

شکل (۴-۱۱): توزیع خطای محاسبه‌ی پرتوزایی بدون اصلاح خودجذبی در برابر انرژی ۸۷

شکل (۴-۱۲): رویه‌ی بازده- انرژی تجربی برای گستره‌ی چگالی $(\frac{gr}{cm^3})$ ۱/۵-۱ ..... ۸۹

شکل (۴-۱۳): رویه‌ی بازده- انرژی محاسباتی برای گستره‌ی چگالی $(\frac{gr}{cm^3})$ ۱/۵-۱/۰ ..... ۹۰

شکل (۴-۱۴): بازده- انرژی تجربی و محاسباتی برای چشمه‌ی استاندارد حاوی خاک مزرعه ۹۱

شکل (۴-۱۵): بازده- انرژی تجربی و محاسباتی برای گستره‌ی چگالی $(\frac{gr}{cm^3})$ ۱/۵-۱ ..... ۹۱

عنوان **صفحه**

شکل (۴-۱۶): بازده-انرژی محاسباتی اصلاح شده و تجربی برای گستره‌ی چگالی $(\frac{gr}{cm^3})$ ۱/۵-۱/۰ .....۹۳

شکل (۴-۱۷): بازده-انرژی محاسباتی (MCNP5) اصلاح شده برای گستره‌ی چگالی $(\frac{gr}{cm^3})$ ۲-۱.....۹۵

شکل (۴-۱۸): بازده- انرژی تجربی و محاسبه شده به روش مدل چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی برای چشمه‌ی استاندارد حاوی خاک ساحل. ۱۰۰

شکل (۴-۱۹): بازده- انرژی تجربی و محاسبه شده به روش مدل چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی برای چشمه‌ی استاندارد حاوی خاک معمولی نوشهر.....۱۰۰

شکل (۴-۲۰): برازش منحنی بر نقاط بازدهی تجربی و بازدهی محاسبه شده بر اساس مدل چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی برای نمونه‌ی حاوی خاک کوه و روابط برازش شده بر نقاط مذکور. ۱۰۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱): کمیت‌ها و واحدهای آن‌ها در MCNP ۳۱

جدول (۲-۲): انواع صفحات، دستورها و ترتیب ورودی‌ها ۳۵

جدول (۲-۳): معرفی انواع تالی برای MCNP ۴۱

جدول (۴-۱): مشخصات آشکارساز GMX_۱۰۱۸۰ از شرکت ORTEC ۶۶

جدول (۴-۲): مشخصات چشمه‌های نقطه‌ای مورد استفاده در آزمایشگاه ۶۷

جدول (۴-۳): مشخصات مربوط به چشمه‌های مارینلی ۶۷

جدول(۴-۴): پهنای کامل نیم‌بیشنه در انرژی‌های مختلف برای آشکارساز HPGE دانشگاه اصفهان..... ۶۹

جدول (۴-۵): نتایج XRF مربوط به خاک مزرعه ۸۲

جدول (۴-۶): خطای محاسبه‌ی پرتوزایی بدون لحاظ کردن تصحیحات خودجذبی ۸۵

جدول (۴-۷): خطای محاسبه‌ی پرتوزایی بدون لحاظ کردن تصحیحات خودجذبی..... ۸۶

جدول (۴-۸): خطا نسبی بین بازده تجربی و محاسباتی برای چشمه‌ی حاوی خاک کوه..... ۹۲

جدول (۴-۹): خطای نسبی محاسبه‌ی پرتوزایی چشمه‌ی استاندارد حاوی تراورتن به منظور اعتبارسنجی راهکار رویه ۹۴

جدول (۴-۱۰): میانگین مقادیر بازده تجربی و محاسبه شده بر اساس مدل چشمه‌ی نقطه‌ای مجازی..... ۱۰۱

جدول (۴-۱۱): مقایسه‌ی ضریب‌های تصحیح خودجذب نمونه‌ی کوه به روش تجربی و شبیه‌سازی ۱۰۶

جدول (۴-۱۲): روابط محاسبه‌ی عامل تصحیح خودجذبی بر اساس چگالی نمونه (تجربی و شبیه‌سازی) ۱۰۶.

جدول (۴-۱۳): گزارش خطای نسبی پرتوزایی‌های محاسبه شده بر مبنای راهکار مرجع برای یک نمونه‌ی استاندارد با مقادیر واقعی پرتوزایی آن در انرژی‌های مختلف..... ۱۰۷

جدول (۴-۱۴): رابطه‌ی محاسبه‌ی ضریب تصحیح خودجذبی بر اساس f_a نمونه به روش شبیه‌سازی..... ۱۰۸

جدول (۴-۱۵): گزارش خطای نسبی پرتوزایی‌های محاسبه شده بر مبنای راهکار مرجع برای یک نمونه‌ی استاندارد با مقادیر واقعی پرتوزایی آن در انرژی‌های مختلف شده است. ۱۰۹

فصل اول

مقدمه‌ای بر آشکارسازی و بیناب‌نگاری

۱-۱ مقدمه

در شاخه‌های مختلف علوم و فناوری هسته‌ای مانند حفاظ‌سازی، تولید انرژی، کارگردانی راکتورهای هسته‌ای و تحقیقات بنیادی، با آشکارسازی پرتویی از ذرات روبه‌رو می‌باشیم. از نظر زیست‌شناختی، انسان نمی‌تواند توسط هیچ یک از حواس پنج‌گانه خود، پرتوهای هسته‌ای را حس کند و بنابراین برای اثبات وجود این پرتوها، به تجهیزات ویژه‌ای به‌نام آشکارساز نیازمند است که قادرند شدت، انرژی و دیگر ویژگی‌های پرتوهای مذکور را آشکار سازند.

برحسب نوع ذرات آشکارشونده، انرژی آن‌ها و میزان دقت مورد نظر در اندازه‌گیری و دیگر عوامل، نوع آشکارسازی که مورد استفاده قرار می‌گیرد متفاوت خواهد بود.

آشکارسازی تابش، بر پایه‌ی بر هم‌کنش‌های آن و انرژی ذخیره شده در ماده‌ای است که آشکارساز از آن ساخته شده است. بنابراین برای آن‌که بتوانیم آشکارسازها را بسازیم و نتایج اندازه‌گیری را تعبیر و تفسیر کنیم، نیاز به

این داریم که بدانیم تابش چگونه برهم‌کنش می‌کند و پیامد بر هم‌کنش‌های مختلف چیست. برای بحثی که به‌دنبال می‌آید، تابش‌های یوننده را به سه دسته تقسیم می‌کنیم:

۱) ذرات باردار: الکترون، پوزیترون، پروتون، دوترون، آلفا و یون‌های سنگین

۲) فوتون‌ها: پرتوهای گاما و ایکس

۳) نوترون

که در این‌جا بنابر لزوم فقط به بررسی برهم‌کنش فوتون‌ها با ماده پرداخته می‌شود.

۱-۲ ضرایب تضعیف فوتون

در هنگام عبور پرتو از ماده ممکن است برخی از فوتون‌ها در اثر برخورد با اتم‌های سازنده‌ی آن جذب شوند و از پرتو حذف شوند یا این‌که بدون برخورد با اتم‌ها از ماده عبور کنند. تعداد فوتون‌های حذف شده از باریکه مستقیماً به تعداد فوتون‌های تابش شده و همچنین به ضخامت و ماهیت ماده‌ی جاذب بستگی دارد. بنابراین رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$\Delta N = -\mu N \Delta x \qquad (۱-۱)$$

که N تعداد فوتون‌های تابش شده، Δx ضخامت ماده‌ی جاذب و μ ثابت تناسب است که ضریب تضعیف خطی نامیده می‌شود. μ به نحو پیچیده‌ای به عدد اتمی، چگالی و ماهیت ماده‌ی جاذب و همچنین انرژی فوتون تابشی، بستگی دارد. علامت منفی نیز بیانگر کاهش تعداد فوتون‌های پرتو است. واضح است که بعد μ به صورت عکس طول است. به طور کلی ضریب تضعیف خطی برابر است با کسری از فوتون‌ها که در واحد طول ماده‌ی جاذب، جذب می‌شوند.

بنابر معادله‌ی قبل برای جذب فوتون‌ها در ماده، تعداد فوتون‌های جذب شده متناسب با تعداد فوتون‌های پرتو فرودی است. بنابراین لازم است Δx به اندازه‌ی کافی کوچک باشد تا به ازای هر Δx تعداد کمی فوتون جذب شود و بتوان تعداد فوتون‌های تابشی را برای آن Δx ثابت گرفت. از این رو معادله‌ی جذب فوتون در ماده را به صورت دیفرانسیلی بیان می‌کنیم.

$$dN = -\mu N dx \qquad (۲-۱)$$

با توجه به این‌که تعداد فوتون‌های تابشی به لایه‌ی جاذب، N_0 می‌باشد، حل آشنای زیر حاصل می‌شود.

$$N = N_0^{-\mu x} \qquad (۳-۱)$$

N تعداد فوتون‌های خروجی از لایه‌ی جاذب به ضخامت x است. این رابطه برای محاسبه‌ی میزان جذب پرتو به وسیله‌ی هر مقدار ضخامت از ماده‌ی جاذب، قابل استفاده است.

کاهش شدت پرتوی فرودی، در اثر برهم‌کنش پرتو با اتم‌های جاذب است. بنابراین اگر لایه‌ی جاذب را فشرده کنیم طوری که تعداد اتم‌های جاذب ثابت باشد، در میزان جذب پرتو تغییری حاصل نمی‌شود. در این حالت ضریب تضعیف خطی افزایش می‌یابد. بنابراین ضریب تضعیف خطی به چگالی ماده‌ی جاذب بستگی دارد. لذا ضریب اساسی‌تری به نام ضریب تضعیف جرمی، که از تقسیم ضریب تضعیف خطی بر چگالی به‌دست می‌آید، در نظر گرفته می‌شود. این ضریب مستقل از چگالی ماده‌ی جاذب است و دارای بعد سطح بر جرم است. وقتی صحبت از ضریب تضعیف جرمی است، ضخامت ماده‌ی جاذب را به صورت ρx بیان می‌کنند که ρ چگالی ماده‌ی جاذب است. همچنین گاهی اوقات ضرایب جذب اتمی و الکترونی نیز که از تقسیم ضریب جذب خطی بر تعداد اتم‌ها یا الکترون‌های واحد حجم حاصل می‌شوند، به‌کار می‌روند. در این صورت ضخامت ماده‌ی جاذب را به صورت $\rho_a x$ یا $\rho_e x$ بیان می‌کنند و ρ_a و ρ_e به ترتیب تعداد اتم‌ها والکترون‌ها در واحد حجم هستند[۱].

۱-۳ برهم‌کنش فوتون با ماده

به طور کلی برهم‌کنش فوتون‌ها با ماده به شش نوع تقسیم می‌شود که در ذیل به اختصار بیان شده‌اند.

۱-۳-۱ فوتوالکتریک[1]

در پدیده‌ی فوتوالکتریک فوتون تابشی با الکترون محیطی اتم‌های جاذب برخورد می‌کند. در این برخورد فوتونی با انرژی $h\upsilon$ به الکترون مدارهای اتمی برخورد کرده و تمام انرژی فوتون صرف کندن و پرتاب شدن الکترون از اتم می‌شود. چنین الکترون سریعی را فوتوالکترون می‌گویند. در این برخورد قسمتی از انرژی فوتون صرف کندن الکترون از اتم می‌شود که معادل انرژی بستگی الکترون است. این انرژی را با w نشان می‌دهند. به این ترتیب انرژی جنبشی فوتوالکترون E_K به صورت زیر به‌دست‌می‌آید. شکل ۱-۱ این پدیده را نشان می‌دهد.

$$E_k = h\upsilon - w \qquad (۴-۱)$$

احتمال وقوع فرآیند فوتوالکتریک برای هر اتم به انرژی فوتون فرودی بستگی دارد. به طور تقریبی این احتمال با $1/E^3$ متناسب است البته به شرط آن‌که انرژی فوتون تابشی برای غلبه بر انرژی بستگی الکترون اتمی کافی باشد. بستگی این احتمال به عدد اتمی به صورت z^4 است. ضریب تضعیف خطی فوتوالکتریک را با τ نشان می‌دهند[۱].

[1] Photoelectric