



تقدیم به روح پرفتوح

**استاد شهید دکتر مجید شهریاری**

شهید راه عزت و سربلندی ایران

## تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌های ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقررات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب مهدی فتحی دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش هسته‌ای دانشکده‌ی علوم پایه دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۲۲۳۷۳۱۰۶ که در تاریخ ۹۲/۱۲/۲۴ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان: مطالعه شبیه‌سازی و تجربی پاسخ آشکارساز یودریدیوم به پرتو گاما با استفاده از کد مونت کارلو چندمنظوره FLUKA و کد ترابرد نور PHOTRACK دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

(۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.

(۲) مسئولیت صحت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.

(۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.

(۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقررات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مأخذ ذکر نموده‌ام.

(۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هرگونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

(۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.

(۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مهدی فتحی

امضا

تاریخ



دانشکده‌ی علوم پایه  
گروه آموزشی فیزیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد  
در رشته‌ی فیزیک گرایش هسته‌ای

**عنوان:**

**مطالعه شبیه‌سازی و تجربی پاسخ آشکارساز یدورسدیوم به پرتو گاما با استفاده از  
کد مونت کارلو چندمنظوره FLUKA و کد ترابرد نور PHOTRACK**

اساتید راهنما:

دکتر داریوش رضایی

دکتر نیما قلعه

پژوهشگر:

مهدی فتحی

زمستان ۹۲



دانشکده‌ی علوم پایه  
گروه آموزشی فیزیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد  
در رشته‌ی فیزیک گرایش هسته‌ای

**عنوان:**

**مطالعه شبیه‌سازی و تجربی پاسخ آشکارساز یدورسدیوم به پرتو گاما با استفاده از  
کد مونت کارلو چندمنظوره FLUKA و کد ترابرد نور PHOTRACK**

پژوهشگر:

مه‌دی فتحی

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی

امضاء	سمت	مرتبه علمی	نام و نام‌خانوادگی
	استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران	دانشیار	داریوش رضایی
	داور	استادیار	فرهاد ذوالفقارپور
	داور	استادیار	علی توانا

اسفند ماه - ۹۲

تقدیم بہ:

روح پاک پدرم

کہ عالمانہ بہ من آموخت تا چگونه در عرصہ زندگی، ایستادگی را تجربہ نمایم

مادرم

بلند تکیہ کا ہم، کہ دلمان پر مہر شیکانہ پناہم است، مہربانی کہ عشق و رزیدن را از او آموختم

و

خواهران عزیزم

## پاسکزاری:

پاس و ستایش مرخداي راجل و جلالة كه آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حكمت او در دل شب تار، درخشان. آفريدگاري كه خويشتن ربه ما شناساند و درهاي علم رابراگشود و عمري و فرصتي عطا فرمود تا بدان، بنده ضعيف خويش را در طريق علم و معرفت بيازمايد.

از استاد عزيز جناب آقاي دكتور داير يوش رضائي كه هدايت اين پروژه ربه عمده داشتند كمال شكر و امتنان را دارم. نيات شكر و قدرداني ربه استاد محترم جناب آقاي دكتور نيا قلعه كه هدايت اين پروژه ربه عمده گرفتند و در اين پژوهش بار اهنائي هاي بي ديعشان مرا ياري نمودند، ابراز مي دارم.

از اساتيد گرامي جناب آقاي دكتور فرهاد ذوالفقار پور و دكتور علي توانا كه داوري پايان نامه رابرعده داشتند، پاسكزاري مي كنم. از كليه اساتيد گروه فزيك دانشكده علوم كه افتخار ساگرديشان را داشتهم، شكر و قدرداني مي نمايم. از جناب آقاي دكتور سهيل خوشبين فرو جناب آقاي دكتور مجتبي تاجيك از گروه فزيك دانشگاه دامغان بخاطر همراهي و سه صدرشان در طول انجام پروژه كمال امتنان را دارم.

در پايان از نگاه ايندمنان توفيق روز افزون براي تامي اساتيد، دوستان و عزيزاني كه مراد طول اين پروژه همراهي كردند، خواستارم.

نام خانوادگی دانشجو: فتحی	نام: مهدی
عنوان پایان نامه: مطالعه شبیه سازی و تجربی پاسخ آشکارساز یدورسدیوم به پرتو گاما با استفاده از کد مونت کارلو چندمنظوره FLUKA و کد ترابرد نور PHOTRACK	
اساتید راهنما: دکتر داریوش رضایی و دکتر نیما قلعه	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
دانشگاه: محقق اردبیلی	دانشکده: علوم پایه
تعداد صفحات: ۱۷۱	تاریخ دفاع: ۹۲/۱۲/۲۴
چکیده: در این پایان نامه، تولید تابع پاسخ آشکارسازهای غیرآلی به پرتو گاما با در نظر گرفتن اثر ترابرد نور در پاسخ این نوع سوسوزن ها، هدف اصلی می باشد. شبیه سازی هندسه، چشمه، مواد، تهیه ورودی و محاسبات مربوط به انرژی ذخیره شده در حجمک های سلول آشکارساز با استفاده از کد چندمنظوره فلوکا انجام شد. سپس با توجه به ناکارآمدی های بخش ترابرد نور کد فلوکا، شبیه سازی ترابرد نور با استفاده از کد PHOTRACK انجام گرفت. مشارکت نوفه ی الکترونیک و حضور لامپ PMT، به صورت یک پهن شدگی اضافی، به طیف اولیه پیچش شده و طیف قابل مقایسه ای با داده های تجربی بدست می آید. نتایج حاصل از شبیه سازی، با نتایج تجربی این پایان نامه همخوانی خوبی را نشان می دهد.	
کلید واژه ها: تابع پاسخ، سوسوزن، قدرت تفکیک، کد فلوکا، کد PHOTRACK	



## فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
<b>فصل اول: آشکارسازهای هسته‌ای</b>	
مقدمه.....	۲
۱-۱- آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای.....	۴
۱-۲- برهم‌کنش‌های پرتو گاما.....	۵
۱-۲-۱- اثر فوتوالکتریک.....	۵
۱-۲-۲- پراکندگی کامپتون.....	۶
۱-۲-۳- تولیدزوج.....	۸
۳-۱- آشکارسازی.....	۸
۴-۱- اصول آشکارسازی سوسوزن.....	۱۰
۵-۱- سوسوزن آلی.....	۱۰
۶-۱- سوسوزن غیرآلی.....	۱۲
۱-۶-۱- خروجی نوری.....	۱۵
۱-۶-۲- بهره کوانتومی فوتوکاتد.....	۱۶
۱-۶-۳- قدرت تفکیک انرژی.....	۱۶
۱۶-۳-۱- روش‌های بهبود قدرت تفکیک.....	۱۸
۷-۱- پاسخ آشکارساز.....	۲۰
۱-۷-۱- تابع پاسخ.....	۲۱
۸-۱- آشکارسازهای سوسوزن NaI(Tl).....	۲۳

## فصل دوم: آشنایی با کد ترابرد نور PHOTRACK

مقدمه.....	۲۶
۱-۲- کدهای ترابرد نور.....	۲۷

- ۲۹..... PHOTRACK کد ترابرد نور ۲-۲-۲
- ۳۰..... PHOTRACK بدنه اصلی کد ۲-۲-۱
- ۳۱..... گام‌های اساسی ترابرد نور در سوسوزن. ۲-۳-۳
- ۳۱..... ۲-۳-۱ تولید فوتون.
- ۳۴..... ۲-۳-۲ تولید جهت حرکت.
- ۳۵..... ۲-۳-۳ برخورد با دیواره.
- ۳۵..... ۲-۳-۱ برخورد با سطح سوسوزن.
- ۳۷..... ۲-۳-۲ برخورد با سطح نوربر.
- ۳۸..... ۲-۳-۴ انعکاس از دیواره.
- ۳۹..... ۲-۳-۱ انعکاس از سطح پخش کننده.
- ۴۰..... ۲-۳-۲ انعکاس از سطح آینه‌وار.
- ۴۲..... ۲-۳-۵ عبور.
- ۴۳..... ۲-۳-۶ تضعیف.
- ۴۴..... ۲-۳-۷ ثبت در فوتوکاتد.
- ۴۷..... ۲-۴-۱ وابستگی به طول موج پارامترهای اپتیکی.
- ۴۸..... ۲-۴-۱ منحنی گسیل نور سوسوزن.
- ۴۸..... ۲-۴-۲ ضریب تضعیف شدت نور.
- ۵۰..... ۲-۴-۳ ضریب انعکاس از رنگ.
- ۵۱..... ۲-۴-۴ بهره کوانتومی فوتوکاتد.
- ۵۱..... ۲-۴-۱ وابستگی به طول موج فوتوکاتد.
- ۵۲..... ۲-۴-۲ ناهمگنی سطح فوتوکاتد.
- ۵۲..... ۲-۵-۱ قدرت تفکیک.
- ۵۵..... ۲-۵-۱ قدرت تفکیک ذاتی.
- ۵۵..... ۲-۵-۲ قدرت تفکیک ناشی از ترابرد نور.
- ۵۹..... ۲-۶-۲ هندسه در کد مونت کارلو PHOTRACK.
- ۶۰..... ۲-۷-۱ اعتبارسنجی کد PHOTRACK.
- ۶۰..... ۲-۷-۱ توانمندی‌های کد PHOTRACK.

## فصل سوم: کد مونت کارلو فلوکا

۶۴	مقدمه
۶۷	۱-۳-تاریخچه فلوکا
۶۸	۱-۱-۳-نسل اول: پروژه SPS مرکز سرن (۱۹۶۲-۱۹۸۷)
۶۸	۱-۳-۲-نسل دوم: مولدهای جدید هادرون (۱۹۸۷-۱۹۸۹)
۶۹	۱-۳-۳-نسل سوم: کد مدرن چند ذره ای
۶۹	۲-۳-نگاه کلی به فیزیک، ساختار و توانایی های فلوکا
۷۲	۱-۲-۳-مدل های مختلف مورد استفاده در فلوکا
۷۲	۱-۲-۳-۱-شبیه سازی آبشار هادرونی در فلوکا
۷۷	۱-۲-۳-۲-شبیه سازی برهم کنش الکترومغناطیس در فلوکا
۷۹	۱-۲-۳-۳-فلوکای الکترومغناطیس
۸۱	۲-۲-۳-هندسه در فلوکا
۸۱	۳-۲-۳-ثبت کننده ها
۸۲	۴-۲-۳-کاربردهای فلوکا
۸۳	۳-۳-ورودی کد فلوکا
۸۴	۱-۳-۳-تعریف چشمه
۸۷	۲-۳-۳-تعریف هندسه
۸۸	۳-۳-۳-تعریف مواد
۹۰	۴-۳-۳-تنظیم فیزیک مسئله
۹۱	۵-۳-۳-ثبت خروجی و پس پردازش
۹۴	۴-۳-ترابرد نور

## فصل چهارم: مطالعات تجربی و شبیه سازی

۱۰۱	۱-۴-طیف نگاری گاما
۱۰۱	۱-۱-۴-ذخیره انرژی توسط فوتون های با $E < ۱/۰۲۲ \text{ MeV}$
۱۰۳	۲-۱-۴-ذخیره انرژی توسط فوتون های با $E > ۱/۰۲۲ \text{ MeV}$
۱۰۴	۳-۱-۴-پیچیدگی تابع پاسخ

۱۰۴.....	۱-۳-۱-۴- فرار الکترون ثانویه.....
۱۰۵.....	۱-۳-۲- فرار تابش ترمزی.....
۱۰۵.....	۱-۳-۳- فرار اشعه ایکس مشخصه.....
۱۰۵.....	۱-۳-۴- تابش های ثانویه در اطراف چشمه.....
۱۰۶.....	۱-۳-۵- اثر مواد اطراف.....
۱۰۷.....	۲-۴- شبیه سازی تابع پاسخ آشکارسازهای سوسوزن غیرآلی.....
۱۰۸.....	۱-۲-۴- محاسبه انرژی ذخیره شده در آشکارساز با استفاده از کد فلوکا .....
۱۱۲.....	۲-۲-۴- ترابرد نور مرئی و تولید جدول وزنی با استفاده از کد PHOTRACK.....
۱۱۶.....	۳-۲-۴- پیش قدرت تفکیک .....
۱۱۸.....	۳-۴- مطالعات تجربی .....
۱۱۹.....	۱-۳-۴- بررسی صحت کد فلوکا.....
۱۱۹.....	۱-۳-۱- چیدمان آزمایش .....
۱۲۰.....	۲-۱-۳-۴- منحنی مدرج سازی انرژی .....
۱۲۱.....	۳-۱-۳-۴- منحنی قدرت تفکیک انرژی .....
۱۲۳.....	۴-۱-۳-۴- نتایج شبیه سازی .....
۱۲۵.....	۲-۳-۴- اعمال کد ترابرد نور .....
۱۲۵.....	۱-۲-۳-۴- چیدمان آزمایش .....
۱۲۶.....	۲-۲-۳-۴- اثر نور بر طیف تابع پاسخ آشکارساز .....
۱۲۹.....	۴-۴- نتیجه گیری .....
۱۳۲.....	فهرست منابع و مآخذ .....
۱۳۷.....	پیوست ها و ضمائم .....

## فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول ۱-۱: مشخصات سوسوزن NaI(Tl).....	۲۳
جدول ۱-۲: جدول زیرروال اصلی کد PHOTRACK و عملکرد آن‌ها.....	۴۷
جدول ۲-۲: میزان نوری کل و قدرت تفکیک انرژی برای سه پیکره‌بندی مختلف شکل ۲-۱۶ بدست آمده از آزمایش و شبیه-سازی مونت کارلو (قلعه، کوهی‌فایق، ۲۰۰۶).....	۵۶
جدول ۳-۲: تغییرات تعداد انعکاس‌ها، مسافت طی شده، زمان عبور و قدرت تفکیک زمانی بر حسب نوع پوشش آشکارساز (قلعه، کوهی‌فایق، ۲۰۰۶).....	۵۸
جدول ۱-۳: ذرات قابل ترابرد در فلوکا (فاسو، ۲۰۰۳).....	۶۵
جدول ۲-۳: گستره انرژی ذرات استفاده شده در فلوکا (فاسو، ۲۰۰۳).....	۶۷
جدول ۳-۳: روند تکمیل و توسعه فلوکا (فاسو، ۲۰۰۳).....	۷۰
جدول ۴-۳: معرفی زیرروال‌های بخش ترابرد نور فلوکا.....	۹۷
جدول ۱-۴: اطلاعات مربوط به چشمه‌های مورد استفاده برای تعیین تابع پاسخ آشکارساز NaI(Tl).....	۱۱۹
جدول ۲-۴: مقادیر حاصل از منحنی برازش شده برای منحنی کالیبراسیون.....	۱۲۱
جدول ۳-۴: ضرایب حاصل از برازش معادله قدرت تفکیک انرژی و تابع پهن‌شدگی آشکارساز سوسوزن NaI(Tl).....	۱۲۳

## فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل	صفحه
شکل ۱-۱: طیف نوعی یک آشکارساز سوسوزن NaI(Tl). (الف) انرژی بالا، (ب) انرژی پایین (نول، ۲۰۱۰).....	۳
شکل ۲-۱: اثر فوتوالکتریک.....	۶
شکل ۳-۱: پراکندگی کامپتون.....	۷
شکل ۴-۱: تولیدزوج.....	۸
شکل ۵-۱: نمودار انرژی سوسوزن‌های آلی (سولفانیدیس، ۱۹۹۵).....	۱۱
شکل ۶-۱: فرآیند تولید نور در یک سوسوزن غیرآلی (قلعه، ۲۰۰۳).....	۱۳
شکل ۷-۱: نوارهای مجاز و ممنوع انرژی یک بلور سوسوزن غیرآلی (سولفانیدیس، ۱۹۹۵).....	۱۴
شکل ۸-۱: قدرت تفکیک انرژی با (پهنای توزیع) و (کانال تشکیل قله توزیع) رابطه دارد (سولفانیدیس، ۱۹۹۵).....	۱۷
شکل ۹-۱: قدرت تفکیک انرژی از تقسیم انحراف از مقدار میانگین بر مقدار میانگین انرژی بدست می‌آید.....	۱۸
شکل ۱۰-۱: دو نقطه متفاوت تولید فوتون که منجر به دو گروه فوتون با شدت‌های مختلف می‌شود.....	۲۰
شکل ۱-۲: شکل کلی هندسه مورد استفاده در کد PHOTRACK.....	۳۱
شکل ۲-۲: نمایی از سلول استوانه‌ای با ارتفاع H و شعاع R از نقطه (X,Y,Z) با جهت (U,V,W) حرکت کرده و به نقطه (X',Y',Z') در سطح استوانه برخورد کرده است.....	۳۷
شکل ۳-۲: یک نوربر مخروطی شکل ساده از نوع با دهانه باز شونده.....	۳۷
شکل ۴-۲: تغییرات شعاع با ارتفاع برای نوربر مخروطی شکل ۳-۲.....	۳۸
شکل ۵-۲: سطح پخشی: نقطه انعکاس به صورت یک چشمه جدید نور در نظر گرفته می‌شود، که نور را در تمام جهات با احتمال یکسان در نیمی از فضا گسیل می‌کند.....	۳۹
شکل ۶-۲: انعکاس آینه‌وار از سطح.....	۴۱
شکل ۷-۲: عبور نور از سطح سوسوزن.....	۴۲
شکل ۸-۲: نمونه نوعی ترابرد نور در یک سلول استوانه‌ای صیقلی.....	۴۵

- شکل ۲-۹: الگوریتم کلی ترابرد نور در سوسوزن..... ۴۶
- شکل ۲-۱۰: منحنی جذب سوسوزن NaI(Tl)..... ۴۹
- شکل ۲-۱۱: منحنی گسیل سوسوزن NaI(Tl) (سولفانی‌دی‌س، ۱۹۹۵)..... ۴۹
- شکل ۲-۱۲: نمودار هم‌پوشانی طیف جذب و گسیل NaI(Tl)..... ۵۰
- شکل ۲-۱۳: نور منعکس شده از دی اکسیدتیتانیوم که توسط شرکت BICRON ارائه شده است..... ۵۰
- شکل ۲-۱۴: بهره کوانتومی یک تکثیرکننده نوری از نوع HAMAMATSU R580-17 بر حسب طول موج فوتون فرودی. منحنی، یک برازش چند جمله‌ای درجه ۹ است..... ۵۲
- شکل ۲-۱۵: قدرت تفکیک، طیف دلتای دیراک چشمه تک انرژی را به صورت گاوسی درآورده است..... ۵۳
- شکل ۲-۱۶: سه پیکربندی مختلف رنگ‌آمیزی سطوح سوسوزن: (۱) افزایش خطی در میزان انعکاس با استفاده از نوارهای رنگی و بدون رنگ (۲) افزایش خطی با استفاده از ۱، ۲، ۳ و ۴ لایه رنگ و (۳) نوع خاصی از رنگ‌آمیزی (به فرم چهار مثلث) برای افزایش میزان انعکاس از پایین به بالا (قلعه، کوهی فایق، ۲۰۰۶)..... ۵۶
- شکل ۲-۱۷: نتایج آزمایشگاهی Kilvington و همکاران (کلوینگتون، ۱۹۷۰) و نتایج مونت کارلوی کد PHOTRACK (قلعه، ۲۰۰۳). در این مورد سطح نوربر کاملاً صیقلی شده است. ضریب بهنجارش در نتایج مونت-کارلو ۰/۷۲ است (قلعه، اسکات، کوهی فایق، ۲۰۰۴)..... ۵۷
- شکل ۲-۱۸: نتایج آزمایشگاهی Kilvington همکاران (کلوینگتون، ۱۹۷۰) و نتایج مونت کارلوی کد PHOTRACK (قلعه، ۲۰۰۳). در این مورد سطح نوربر کاملاً رنگ شده است. ضریب بهنجارش در نتایج مونت کارلو ۱/۲۳ است..... ۵۸
- شکل ۳-۱: نمونه‌ای از کارت تعریف چشمه BEAM..... ۸۵
- شکل ۳-۲: نمونه‌ای از کارت تعریف چشمه که برای تعیین جهت چشمه استفاده می‌شود..... ۸۶
- شکل ۳-۳: نمونه‌ای از برخی اجسام استفاده شده در تعریف هندسه موردنظر..... ۸۷
- شکل ۳-۴: نمونه‌ای از ساخت نواحی موردنظر با استفاده از اجسام تعریف شده..... ۸۸
- شکل ۳-۵: نمونه‌ای از کارت تعریف مواد MATERIAL..... ۸۸
- شکل ۳-۶: نمونه‌ای از کارت COMPOUND که در تعریف ترکیبات مواد استفاده می‌شود..... ۸۹
- شکل ۳-۷: نمایش کتابخانه مواد رابط فلیر..... ۸۹
- شکل ۳-۸: نمونه‌ای از کارت تعیین سطح مقطع برای نوترون‌های کم انرژی..... ۸۹

- شکل ۳-۹: چند نمونه از کارت‌های ASSIGNMA که برای اختصاص مواد به نواحی به کار می‌رود..... ۹۰
- شکل ۳-۱۰: نمونه‌ای از کارت USBIN..... ۹۱
- شکل ۳-۱۱: نمایش تنظیمات رسم نمودار با استفاده از رابط فلیر..... ۹۲
- شکل ۳-۱۲: نمونه‌ای از انرژی ذخیره شده در هندسه موردنظر..... ۹۲
- شکل ۳-۱۳: نمونه‌ای از کارت DETECT..... ۹۳
- شکل ۳-۱۴: نمونه‌ای از کارت USBTRACK..... ۹۳
- شکل ۳-۱۵: نمونه‌ای از کارت تعیین شار USBDX..... ۹۴
- شکل ۳-۱۶: کارت OPT-PROD برای فعال کردن ترابرد فوتون‌های مرئی..... ۹۴
- شکل ۳-۱۷: تعیین وابستگی به طول موج توسط کارت OPT-PROP..... ۹۵
- شکل ۳-۱۸: تعیین پارامترهای اپتیکی توسط کارت OPT-PROP..... ۹۶
- شکل ۳-۱۹: تعیین میزان انعکاس مواد توسط کارت OPT-PROP..... ۹۶
- شکل ۴-۱: پراکندگی کامپتون در دو آشکارساز با اندازه‌های مختلف (سولفانیدیس ۱۹۹۵)..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲: طیف‌نگاری اشعه گاما با آشکارساز سایز متوسط، شامل پیک کامل انرژی، پیوستار کامپتون، قله تک فراری، دو فراری و وقایع کامپتون چندگانه (نول، ۲۰۱۰)..... ۱۰۴
- شکل ۴-۳: تاثیر مواد احاطه کننده آشکارساز بر تابع پاسخ (نول، ۲۰۱۰)..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴: نمایشی از انرژی ذخیره شده توسط فوتون‌های چشمه سزیوم-۱۳۷ در سوسوزن غیرآلی یدورسدیوم..... ۱۰۹
- شکل ۴-۵: روند تغییرات انرژی ذخیره شده در سلول آشکارساز با افزایش ارتفاع..... ۱۱۰
- شکل ۴-۶: خروجی کارت EVENTBIN (برای نمایش بهتر هر راستا به ۱۰ قسمت تقسیم شده است)..... ۱۱۱
- شکل ۴-۷: ورودی فلوکا برای سوسوزن غیرآلی یدورسدیوم توسط رابط گرافیکی فلیر..... ۱۱۲
- شکل ۴-۸: منحنی احتمال جذب برای سوسوزن NaI(Tl) که به صورت نمایی افت می‌کند..... ۱۱۴
- شکل ۴-۹: وابستگی به طول موج پارامترهای اپتیکی (۱) منحنی احتمال گسیل (NaI(Tl))، (۲) انعکاس رنگ (BICRON TiO<sub>2</sub> Paint)، (۳) بهره کوانتومی فوتوکاتد (PHOTONIS:XP۲۰۲۰)، (۴) ضریب شکست ماده سوسوزن NaI(Tl) (که برای نمایش بهتر در ۰/۵ ضرب شده است)..... ۱۱۵
- شکل ۴-۱۰: تابع پاسخ سوسوزن یدور سدیوم حاصل از تلفیق فلوکا و PHOTRACK..... ۱۱۶
- شکل ۴-۱۱: تابع پاسخ آشکارساز قبل از اعمال پهن شدگی..... ۱۱۷



- شکل ۴-۱۲: تابع پاسخ آشکارساز بعد از اعمال پهن شدگی با ضریب  $(a=0/02)$ ..... ۱۱۷
- شکل ۴-۱۳: فلوجارت کد FLUKA+PHOTRACK تفکیک پذیری اضافی که برای توزیع PMT محاسبه شده در مرحله اضافه شده است..... ۱۱۸
- شکل ۴-۱۴: نمایی از وسایل و نحوه حفاظگذاری در اندازه گیری پرتوهای گاما با استفاده از آشکارساز یدورسدیوم..... ۱۱۹
- شکل ۴-۱۵: منحنی مدرج سازی مربوط به آشکارساز یدورسدیوم  $1" \times 2"$ ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱۶: منحنی قدرت تفکیک انرژی برای آشکارساز یدورسدیوم  $1" \times 2"$ ..... ۱۲۱
- شکل ۴-۱۷: منحنی FWHM بر حسب انرژی برای آشکارساز یدورسدیوم  $1" \times 2"$ ..... ۱۲۳
- شکل ۴-۱۸: توزیع فضایی فوتون های گسیلی از چشمه گامای سزیوم-۱۳۷ در مجاورت سوسوزن NaI(Tl)..... ۱۲۴
- شکل ۴-۱۹: توزیع انرژی ذخیره شده در آشکارساز یدورسدیوم برای چشمه سزیوم-۱۳۷ قبل و بعد از اعمال ضرایب پهن شدگی..... ۱۲۴
- شکل ۴-۲۰: مقایسه طیف های تجربی و شبیه سازی حاصل از آشکارساز یدورسدیوم برای چشمه های مختلف..... ۱۲۵
- شکل ۴-۲۱: محفظه انجام آزمایش..... ۱۲۵
- شکل ۴-۲۲: مقایسه طیف تجربی و شبیه سازی برای چشمه های مختلف مورد استفاده..... ۱۲۶
- شکل ۴-۲۳: طریقه قرار گرفتن سلول سوسوزن، نوربر و PMT در کنار هم، درون جعبه انجام آزمایش..... ۱۲۸
- شکل ۴-۲۴: مقایسه نتایج شبیه سازی و تجربی مربوط به پاسخ سوسوزن NaI(Tl) با نوربرهای به طول ۰، ۲ و ۳ سانتی متر..... ۱۲۸

# فصل ۱

**آشنایی با آشکارسازهای هسته‌ای**

## مقدمه

استفاده از یدورسدیوم فعال شده با ناخالصی تالیوم از سال ۱۹۵۰ میلادی به عنوان ماده سوسوزن، سرمنشاء تحولات جدیدی در طیف‌سنجی گاما شد. این بلور بدون ناخالصی، نور زیادی تولید نمی‌کند اما اندکی ناخالصی (یک در میلیون) نور منتشره را با ضریب ۱۰ تقویت می‌کند. این ماده سوسوزن به عنوان آشکارساز، بازده بالایی برای آشکارسازی گاما و قدرت تفکیک انرژی مناسبی برای جداسازی مشارکت چشمه‌های گامای چند انرژی دارد.

سوسوزن  $\text{NaI(Tl)}$ ، اولین ماده جامدی است که برای طیف‌سنجی فوتون‌های گاما مورد استفاده قرار گرفت. علت استفاده گسترده از این ماده سوسوزن، خروجی نوری بسیار خوب، خطی بودن و عدد اتمی بالای عنصر ید موجود در آن می‌باشد. آشکارسازی پرتو گاما، منوط به انجام برهم‌کنش با ماده آشکارساز و انتقال همه یا بخشی از انرژی گاما در آن می‌باشد. فوتون‌های گامای اولیه، نامرئی هستند و در واقع آنچه آشکارسازی می‌شود، الکترون‌های سریع خلق شده در برهم‌کنش‌ها می‌باشد.

یک آشکارساز جهت طیف‌سنجی دو وظیفه بر عهده دارد:

۱- به عنوان یک محیط تبدیل عمل کند که در آن، فوتون‌های گامای فرودی، واکنش‌هایی را با ماده آشکارساز انجام دهند که منجر به تولید یک یا چند الکترون سریع شود.

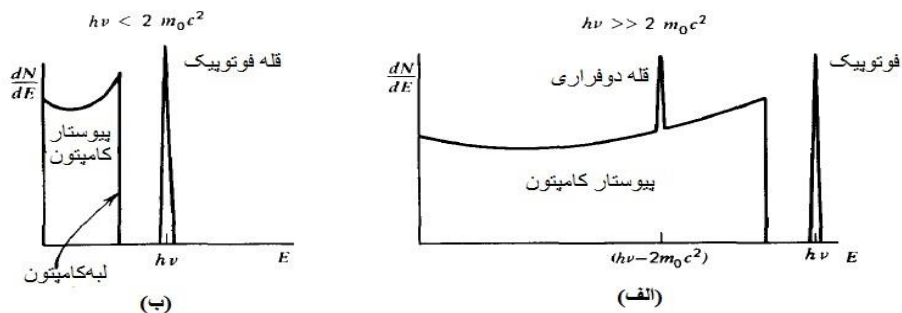
۲- الکترون‌های ثانویه تولید شده را آشکارسازی کند (نول<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰).

بدست آوردن تابع پاسخ آشکارساز در آشکارسازی تابش، برای اهداف طیف‌سنجی مفید می‌باشد. تابع پاسخ آشکارساز  $\text{NaI(Tl)}$ ، هم می‌تواند به صورت تجربی و هم با محاسبات مونت‌کارلو بوسیله کدهای شبیه‌سازی مونت‌کارلو مانند ETRAN، EGS و MCNP بدست آید. محاسبات مونت‌کارلو، دیر زمانی است که برای تولید تابع پاسخ آشکارساز سوسوزن  $\text{NaI(Tl)}$  استفاده می‌شوند.

---

<sup>1</sup> Knoll

هدف بسیاری از اندازه‌گیری‌های تابش، بدست آوردن توزیع انرژی تابش فرودی است، از این رو لازم است تا تابع پاسخ آشکارساز را برای تابش فرودی به آشکارساز بدانیم. تابع پاسخ آشکارساز فوتون-های گاما، به برهم‌کنش‌های فوتون با ماده بستگی دارد. اثر فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون و تولیدزوج، پدیده‌هایی هستند که در طیف تابع پاسخ آشکارساز گاما مشارکت دارند. در شکل ۱-۱ طیف نوعی یک آشکارساز سوسوزن NaI(Tl) نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱: طیف نوعی یک آشکارساز سوسوزن NaI(Tl). (الف) انرژی بالا، (ب) انرژی پایین (نول، ۲۰۱۰).

قله‌ی تمام انرژی در نتیجه‌ی اثر فوتوالکتریک و جذب تمام انرژی در برهم‌کنش‌های چندگانه بوجود می‌آید. اگر فوتون فرودی بوسیله یک الکترون پراکنده شود، بخشی از انرژی‌اش را از دست می‌دهد و این رویداد در پیوستار کامپتون ثبت می‌شود. قله تک فراری و دو فراری از پدیده تولیدزوج ناشی می‌شوند (تولیدزوج برای انرژی‌های گامای بزرگتر از ۱/۰۲۲ MeV رخ می‌دهد).

تابع پاسخ  $R(E', E)$  عبارت است از توزیع انرژی پرتوهای گامای تک انرژی.  $E'$  انرژی ارتفاع پالس و  $E$  انرژی گامای فرودی است. تابع پاسخ، تابع توزیع احتمالی را نشان می‌دهد که همیشه بزرگتر یا مساوی صفر است و انتگرال آن بر روی کل بازه انرژی، مساوی یک است (سنگیز<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸).

$$\int_0^{E'} R(E', E) dE = 1 \quad (1-1)$$

شبیه‌سازی مونت کارلو وقتی می‌تواند به طور کامل انجام شود که، همه ویژگی‌های آشکارساز را بدانیم. در این پایان‌نامه، شبیه‌سازی تابع پاسخ آشکارساز، با استفاده از کد مونت کارلو چند منظوره فلوکا<sup>۲</sup> و کد ترابرد نور PHOTRACK، انجام می‌شود.

<sup>1</sup> Cengiz  
<sup>2</sup> FLUKA