

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان

دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش هسته ای)

مطالعه شبیه سازی و تجربی اثر ترابرد نور بر پاسخ زمانی آشکارساز

سوسوزن

توسط:

مریم علیان نژادی

استاد راهنما:

دکتر نیما قلعه

بهمن ماه ۱۳۹۰

به نام خدا

مطالعه شبیه سازی و تجربی اثر تراپرد نور بر پاسخ زمانی آشکار ساز سوسوزن

به وسیله:

مریم علیان نژادی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

فیزیک (گرایش هسته‌ای)

از دانشگاه دامغان

ارزیابی و تأیید شده توسط کمیته پایان نامه با هر چه عالی

دکتر لیا قننه، استادیار فیزیک هسته‌ای، دانشکده فیزیک دانشگاه دامغان (استاد راهنما)

دکتر غلامرضا امامی، استادیار فیزیک هسته‌ای، پژوهشکده فیزیک دانشگاه صنعتی مازندران (استاد داور)

دکتر سید سعید خوشین‌نار، استادیار فیزیک هسته‌ای، دانشکده فیزیک دانشگاه دامغان (استاد داور)

دکتر حسن پورانی، استادیار فیزیک ماده چگال، دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان (استاد داور)

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به روح پرفتح

استاد شهید دکتر مجید شهریاری

شهید راه عزت و سربلندی ایران

سپاس یگانه بی‌همتایی را که جان را برداش و حکمت بیاراید و سپاس فراوان تر که این حقیر را لیاقت داد تا از محضر خوبانی بهره‌مند شوم و برای شکر نشان را بر زبان جاری سازم.

بانهایت تواضع از زحمات بی‌دریغ استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر نیما قلعه، که بارها سمانی‌های بسیار ارزنده‌شان روشنگر راهم بودند کمال شکر و سپاس‌گزاری را دارم.

از اساتید ارجمند، آقایان دکتر اطاعتی و دکتر خوش‌بین فر که با پذیرفتن داورى این پایان نامه مرا از نقطه نظرات ارزشمندشان بهره‌مند نمودند کمال شکر را دارم.

از دوست بسیار خوبم خانم شفیق زاده به خاطر تمام مطالبی که بی‌منت به من آموختند نهایت شکر و قدردانی را داشته و برایشان آرزوی سلامت و بهروزی دارم.

سپاس و قدردانی قلبی ام را تقدیم به پدر و مادرم می‌نمایم که حضور بی‌مدعایشان در کمال صداقت و محبت و دعای خیرشان همواره آرامش بخش زندگی ام است. باشد که این کار برای سخطه‌ای بخند رضایت ایشان را سبب شود.

چکیده

مطالعه شبیه سازی و تجربی اثر ترابرد نور بر پاسخ زمانی آشکارساز سوسوزن

به وسیله‌ی:

مریم علیان نژادی

در این پایان‌نامه، اثر ترابرد نور بر پاسخ زمانی آشکارسازهای سوسوزن مورد مطالعه قرار گرفته است. شبیه‌سازی ترابرد نور با نوشتن یک برنامه به زبان فرترن و با استفاده از روش مونت‌کارلو انجام شده است. در این شبیه‌سازی، با تکیه بر قواعد اپتیک هندسی و با در نظر گرفتن وابستگی به طول‌موج پارامترهای اپتیکی مانند منحنی گسیل، بازتابش از رنگ، ضریب شکست، ضریب تضعیف و بهره‌ی کوانتومی برای دو هندسه‌ی استوانه‌ای و مکعبی انجام شده و با نتایج تجربی و شبیه‌سازی دیگران مقایسه شده است. پس از اطمینان از صحت عملکرد برنامه، به بررسی مشارکت ترابرد نور در پاسخ زمانی سوسوزن پرداخته شد و تأثیر عواملی چون وابستگی به طول‌موج پارامترهای اپتیکی و نیز طول‌های مختلف نوربر استوانه‌ای در قدرت تفکیک زمانی سوسوزن مورد بررسی قرار گرفت و با نتایج آزمایش‌های جداسازی نوترون-گاما، مقایسه گردید. در نهایت، به منظور بررسی تأثیر پارامترهای اپتیکی مختلف بر رفتار زمانی سوسوزن، از روش تحلیل حساسیت استفاده شد و عوامل تأثیرگذار بر روی پاسخ زمانی بر اساس این روش مورد بررسی قرار گرفتند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان و شماره
۱	فصل اول: مقدمه‌ای بر آشکارسازهای سوسوزن.....
۱	۱-۱- آشکارسازی ذرات.....
۱	۱-۱-۱- دستگاه‌های آشکارسازی.....
۴	۱-۱-۲- اصول کار دستگاه‌های آشکارساز.....
۵	۲-۱- انواع آشکارساز.....
۵	۱-۲-۱- آشکارساز گازی.....
۶	۲-۲-۱- آشکارساز نیمرسانا.....
۹	۳-۲-۱- آشکارساز سوسوزن.....
۱۰	۳-۱- آشکارساز سوسوزن.....
۱۰	۱-۳-۱- تاریخچه.....
۱۱	۲-۳-۱- مقدمه‌ای بر آشکارسازی سوسوزنی.....
۱۲	۳-۳-۱- سازوکار سوسوزنی و طبقه‌بندی مواد سوسوزن.....
۱۳	۱-۳-۳-۱- سوسوزن‌های بلوری غیرآلی.....
۱۷	۱-۱-۳-۳-۱- سازوکار سوسوزنی در سوسوزن‌های غیرآلی.....
۱۸	۲-۱-۳-۳-۱- تابع پاسخ سوسوزن‌های غیرآلی.....
۲۰	۲-۳-۳-۱- سوسوزن‌های آلی.....
۲۵	۱-۲-۳-۳-۱- سازوکار سوسوزنی در سوسوزن‌های آلی.....
۳۰	۲-۲-۳-۳-۱- تابع پاسخ سوسوزن‌های آلی.....
۳۴	۳-۳-۳-۱- سوسوزن‌های گازی.....
۳۴	۴-۳-۱- عوامل مؤثر بر عملکرد سوسوزن.....

۳۵	..... خودجذبی سوسوزن‌ها ۱-۴-۳-۱
۳۵	..... بازتابنده‌ها و دام‌اندازی نور ۲-۴-۳-۱
۳۶	..... نوربر ۳-۴-۳-۱
۳۸	..... لامپ تکثیر کننده فوتونی ۵-۳-۱
۴۰	..... فوتوکاتد ۱-۵-۳-۱
۴۲	..... داینودها ۲-۵-۳-۱
۴۲	..... تاریخچه شبیه سازی آشکارساز سوسوزن ۴-۱
۴۳	..... ترابرد ذره ۱-۴-۱
۴۳	..... Geant4 کد ۱-۱-۴-۱
۴۵	..... DETECTY2000 کد ۲-۱-۴-۱
۴۵	..... MCNP کد ۳-۱-۴-۱
۴۶	..... COG کد ۴-۱-۴-۱
۴۷	..... ترابرد نور ۲-۴-۱
۴۸	..... PHOTON کد ۱-۲-۴-۱
۵۰	..... OPTICS کد ۲-۲-۴-۱
۵۱	..... LITRANI کد ۳-۲-۴-۱
۵۲	..... PHOTRACK کد ۴-۲-۴-۱
۵۳	..... فصل دوم: ترابرد نور در سوسوزن
۵۴	..... ۱-۲- گام‌های اساسی ترابرد نور در سوسوزن
۵۴	..... ۱-۱-۲- نقطه تولید نور
۵۵	..... ۱-۱-۲- نقطه تولید نور در هندسه استوانه‌ای
۵۶	..... ۲-۱-۲- نقطه تولید نور در هندسه مکعبی
۵۶	..... ۲-۱-۲- تولید جهت حرکت فوتون
۵۷	..... ۳-۱-۲- برخورد با دیواره
۵۸	..... ۱-۳-۱-۲- برخورد با دیواره سوسوزن استوانه‌ای
۶۰	..... ۲-۳-۱-۲- برخورد با دیواره سوسوزن مکعبی

- ۶۱ ۴-۱-۲- بازتاب از دیواره.....
- ۶۳ ۱-۴-۱-۲- بازتاب از سطح پخش کننده.....
- ۶۵ ۲-۴-۱-۲- بازتاب از سطح آینه‌وار.....
- ۶۷ ۵-۱-۲- عبور.....
- ۶۸ ۶-۱-۲- تضعیف.....
- ۶۹ ۷-۱-۲- ثبت در فوتوکاتد.....
- ۷۲ ۲-۲- وابستگی به طول موج پارامترهای اپتیکی.....
- ۷۲ ۱-۲-۲- منحنی گسیل نور سوسوزن.....
- ۷۳ ۲-۲-۲- ضریب بازتاب از رنگ.....
- ۷۳ ۳-۲-۲- ضریب شکست.....
- ۷۴ ۴-۲-۲- ضریب تضعیف شدت نور.....
- ۷۵ ۵-۲-۲- بهره کوانتومی فوتوکاتد.....
- ۷۶ ۳-۲- برنامه‌ی شبیه‌سازی ترابرد نور.....
- ۷۷ ۱-۳-۲- بدنه‌ی اصلی برنامه.....
- ۸۰ ۲-۳-۲- زیرروال‌های اساسی برنامه.....
- ۸۴ ۳-۳-۲- روش وارد کردن پارامترهای وابسته به طول‌موج.....
- ۸۴ ۴-۲- قدرت تفکیک انرژی.....
- ۸۷ ۱-۴-۲- قدرت تفکیک ذاتی.....
- ۸۸ ۲-۴-۲- قدرت تفکیک ناشی از ترابرد نور.....
- ۸۹ ۱-۲-۴-۲- تکنیک‌های رنگ‌آمیزی و حذفی.....
- ۹۳ ۲-۲-۴-۲- اثر ناهمگنی سطح فوتوکاتد.....
- ۹۶ ۵-۲- قدرت تفکیک زمانی.....
- ۹۸ ۱-۵-۲- تبعیض شکل تپ.....
- ۱۰۰ فصل سوم: تحلیل حساسیت.....
- ۱۰۱ ۱-۳- تحلیل حساسیت و تحلیل عدم قطعیت.....
- ۱۰۳ ۲-۳- اسلوب‌شناسی.....

۱۰۶	۳-۳- کاربردهای روش تحلیل حساسیت
۱۰۷	۳-۴- محاسبه‌ی حساسیت با تحلیل جبری
۱۰۹	۳-۵- تحلیل حساسیت در محاسبات بحرانی راکتور
۱۱۰	۳-۵-۱- عدم قطعیت در محاسبات بحرانی مونت کارلو
۱۱۱	۳-۵-۲- تحلیل عدم قطعیت K_{eff}
۱۱۲	۳-۵-۳- روش‌های تحلیل عدم قطعیت
۱۱۲	۳-۵-۳-۱- روش‌های بر پایه‌ی نمونه‌برداری
۱۱۳	۳-۵-۳-۱-۱- روش مونت کارلو
۱۱۴	۳-۵-۳-۱-۲- روش سطح پاسخ
۱۱۵	۳-۵-۳-۲- روش‌های تحلیلی
۱۱۵	۳-۵-۳-۱-۲- روش اختلال مستقیم
۱۱۷	۳-۵-۳-۲-۲- روش الحاقی
۱۱۹	۳-۵-۲- مثال‌هایی از کاربرد تحلیل حساسیت در مطالعات هسته‌ای
۱۲۲	۳-۶- تحلیل حساسیت در مطالعه آشکارساز سوسوزن
۱۲۸	۳- فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری
۱۲۹	۴-۱- بررسی تغییرات بهره جمع‌آوری نور در سوسوزن
۱۳۵	۴-۲- بررسی مشارکت ترابرد نور در ویژگی‌های زمانی سوسوزن
۱۴۴	۴-۳- تحلیل حساسیت
۱۵۱	۴-۴- مطالعه شبیه‌سازی و تجربی اثر طول نوربر بر قدرت تفکیک زمانی
۱۶۱	۴-۵- نتایج
۱۶۳	۴-۶- پیشنهادات
۱۶۴	مراجع
۱۷۱	پیوست (الف)
۱۷۴	پیوست (ب)
۱۷۷	پیوست (ج)
۱۸۸	پیوست (د)

فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره	صفحه
جدول ۱-۱: مشخصات سوسوزن‌های غیرآلی متداول.....	۱۵
جدول ۲-۱: مشخصات سوسوزن‌های آلی.....	۲۴
جدول ۱-۲: زیروال‌های اصلی برنامه و عملکرد آن‌ها.....	۸۲
جدول ۲-۲: میزان خروجی نور کل و قدرت تفکیک انرژی برای سه پیکره‌بندی مختلف	۹۱
جدول ۳-۲: تغییرات تعداد بازتاب‌ها، مسافت طی شده، زمان عبور و قدرت تفکیک زمانی بر حسب نوع پوشش آشکارساز.....	۹۳
جدول ۴-۲: مقایسه‌ی اثر ترابرد نور با در نظر گرفتن حالات مختلف بهره‌ی کوانتومی بر روی قدرت تفکیک آشکارساز سوسوزن.....	۹۶
جدول ۱-۳: رویه محاسبه‌ی تحلیل حساسیت مورد استفاده در تولید پروفایل حساسیت	۱۲۳
جدول ۱-۴: زمان طی مسیر نور برای طول‌های مختلف نوربر سوسوزن استوانه‌ای با پوشش‌های مختلف	۱۳۶
جدول ۲-۴: زمان طی مسیر نور برای طول‌های مختلف نوربر سوسوزن مکعبی با پوشش‌های مختلف	۱۳۷
جدول ۳-۴: قدرت تفکیک زمانی برای طول‌های مختلف نوربر سوسوزن استوانه‌ای با پوشش‌های مختلف	۱۳۸
جدول ۴-۴: قدرت تفکیک زمانی برای طول‌های مختلف نوربر سوسوزن مکعبی با پوشش‌های مختلف	۱۳۹
جدول ۵-۴: زمان عبور نور و قدرت تفکیک زمانی برای سه طول مختلف نوربر صیقلی.....	۱۵۸

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان و شماره
۲	شکل ۱-۱: یک دستگاه آشکارساز تپی
۶	شکل ۲-۱: آشکارساز گازی نوعی
۸	شکل ۳-۱: آشکارساز نوع p-n با بایاس معکوس
۱۷	شکل ۴-۱: نوارهای انرژی مجاز و ممنوع بلور سوسوزن غیرآلی
۱۹	شکل ۵-۱: پاسخ سوسوزن NAI(Tl) به فوتون
۲۰	شکل ۶-۱: پاسخ سوسوزن NAI(Tl) به ذرات باردار
۲۷	شکل ۷-۱: ترازهای انرژی یک مولکول آلی با ساختار الکترونی π
۲۹	شکل ۸-۱: طیف جذب و گسیل اپتیکی شماتیک برای مولکول آلی
۳۱	شکل ۹-۱: پاسخ سوسوزن پلاستیک NE۱۰۲ به الکترون و پروتون
۳۱	شکل ۱۰-۱: پاسخ سوسوزن پلاستیک NE۲۱۳ به ذرات الکترون، پروتون، آلفا و یون کربن
۳۳	شکل ۱۱-۱: خروجی نور سوسوزن مایع NE۲۱۳
۳۷	شکل ۱۲-۱: بازتاب در سطح نوربر
۳۹	شکل ۱۳-۱: اجزاء اصلی PMT
۴۷	شکل ۱۴-۱: قابلیت‌های کد COG
۵۱	شکل ۱۵-۱: رابط گرافیکی TKOPTICS برای وارد کردن پارامترهای مربوط به آشکارسازی در کد OPTICS
	شکل ۱-۲: نمایی از حرکت فوتون از نقطه‌ی (X, Y, Z) با جهت (U, V, W) در سلول استوانه‌ای با ارتفاع H و شعاع R و برخورد با نقطه‌ی $(\hat{X}, \hat{Y}, \hat{Z})$ در سطح استوانه
۵۹	شکل ۲-۲: یک نوربر مخروطی شکل ساده از نوع با دهانه‌ی بازشونده
۶۰	شکل ۳-۲: تغییرات شعاع با ارتفاع برای نوربر مخروطی شکل ۲-۲
۶۱	شکل ۴-۲: نمایی از صفحات جانبی سوسوزن مکعبی مورد بررسی
۶۲	شکل ۵-۲: منحنی گسیل سوسوزن مایع NE۲۱۳ که توسط شرکت BICRON ارائه شده است

- شکل ۲-۶: نور بازتاب شده از دی اکسید تیتانیوم که توسط شرکت BICRON ارائه شده است..... ۶۳
- شکل ۲-۷: سطح پخشی (نقطه بازتاب به صورت یک چشمه جدید نور در نظر گرفته می شود، که نور را در تمام جهات با احتمال یکسان در نیمی از فضا گسیل می کند)..... ۶۴
- شکل ۲-۸: بازتاب آینه وار از سطح ۶۶
- شکل ۲-۹: عبور نور از سطح سوسوزن ۶۷
- شکل ۲-۱۰: صورت کلی الگوریتم شبیه سازی ترابرد نور در برنامه ی فرترن نوشته شده..... ۷۱
- شکل ۲-۱۱: نمونه ی نوعی ترابرد نور در یک سلول استوانه ای شکل..... ۷۲
- شکل ۲-۱۲: طیف گسیلی از سوسوزن های پلاستیک BC۴۰۰ که معادل NE۱۰۲ و BC۴۱۲ که معادل سوسوزن پلاستیک NE۱۱۰ هستند..... ۷۳
- شکل ۲-۱۳: منحنی جذب و گسیل و احتمال خود جذبی $P(\lambda_x)$ که ناشی از هم پوشانی دو منحنی است..... ۷۴
- شکل ۲-۱۴: منحنی احتمال جذب که به صورت نمایی افت می کند..... ۷۵
- شکل ۲-۱۵: بهره ی کوانتومی یک PMT از نوع HAMAMATSU R۵۸۰-۱۷ بر حسب طول موج فوتون فرودی ۷۶
- شکل ۲-۱۶: شکل کلی هندسه ی مورد استفاده در کد PHOTRACK..... ۷۷
- شکل ۲-۱۷: شکل کلی هندسه ی استوانه ای مورد استفاده در برنامه..... ۷۸
- شکل ۲-۱۸: شکل کلی هندسه ی مکعبی مورد استفاده در برنامه..... ۷۹
- شکل ۲-۱۹: وابستگی به طول موج پارامترهای اپتیکی در شبیه سازی ترابرد نور در سوسوزن..... ۸۴
- شکل ۲-۲۰: مقایسه ی قدرت تفکیک خوب و بد برای یک قله ی طیفی شماتیک..... ۸۵
- شکل ۲-۲۱: قدرت تفکیک انرژی از تقسیم انحراف از معیار میانگین بر مقدار میانگین انرژی به دست می آید..... ۸۷
- شکل ۲-۲۲: دو نقطه ی متفاوت تولید فوتون که منجر به دو گروه فوتون با شدت های مختلف می شوند..... ۸۹
- شکل ۲-۲۳: نتایج شبیه سازی مونت کارلوی روش حذفی و اثر آن بر قدرت تفکیک انرژی سوسوزن پلاستیک..... ۹۰
- شکل ۲-۲۴: سه پیکره بندی مختلف رنگ آمیزی سطح سوسوزن..... ۹۱
- شکل ۲-۲۵: نتایج آزمایشگاهی Kilvington و همکاران و نتایج مونت کارلوی کد PHOTRACK (سطح نوربر صیقلی) ۹۲
- شکل ۲-۲۶: نتایج آزمایشگاهی Kilvington و همکاران و نتایج مونت کارلوی کد PHOTRACK (سطح نوربر رنگ خورده)..... ۹۲

- شکل ۲-۲۷: توزیع فراوانی ۱۰۵ فوتون تولید شده در نقطه ($R.=1/5$ cm و $Z.=0/5$ cm) بر روی سطح فوتوکاتدی که به یک شبکه 25×25 تقسیم بندی شده است..... ۹۴
- شکل ۲-۲۸: طیف تبعیض شکل نوعی تپ نوترون-گامای چشمه Am-Be..... ۹۹
- شکل ۳-۱: تصویری شماتیک از تحلیل حساسیت بر پایه نمونه برداری..... ۱۰۵
- شکل ۳-۲: پروفایل حساسیت فعال سازی پولک به انرژی نوترون..... ۱۲۰
- شکل ۳-۳: پروفایل حساسیت ضریب تکثیر مؤثر به سطح مقطع های واکنش در دو هندسه ی دوبعدی و سه-بعدی راکتور XT-ADS..... ۱۲۲
- شکل ۳-۴: وابستگی به طول موج مهم ترین پارامترهای اپتیکی استفاده شده در شبیه سازی ترابرد نور..... ۱۲۴
- شکل ۳-۵: پروفایل حساسیت قدرت تفکیک انرژی آشکارسازی به پارامترهای اپتیکی..... ۱۲۵
- شکل ۳-۶: حساسیت قدرت تفکیک انرژی آشکارسازی به ضریب بازتاب از رنگ برای سه اندازه ی مختلف سوسوزن..... ۱۲۶
- شکل ۳-۷: حساسیت قدرت تفکیک انرژی آشکارسازی به ضریب تضعیف برای سه اندازه ی مختلف سوسوزن..... ۱۲۶
- شکل ۳-۸: حساسیت قدرت تفکیک انرژی آشکارسازی به بهره ی کوانتومی فوتوکاتد برای سه اندازه ی مختلف سوسوزن..... ۱۲۷
- شکل ۴-۱: هندسه ی سوسوزن های نوعی مورد مطالعه..... ۱۲۹
- شکل ۴-۲: مقایسه نتایج شبیه سازی برنامه مونت کارلو نوشته شده با نتایج شولرمن و کلاین..... ۱۳۰
- شکل ۴-۳: تغییرات بهره ی جمع آوری نور در سوسوزن استوانه ای رنگ خورده با در نظر گرفتن پارامترهای اپتیکی وابسته به طول موج ۱۳۱
- شکل ۴-۴: (الف) نمایی از هندسه ی سوسوزن مورد مطالعه و (ب) نمودار تغییرات ضریب بازتابش از رنگ آلومینیوم..... ۱۳۲
- شکل ۴-۵: مقایسه داده های مقاله مورنو-روخا با برنامه مونت کارلوی نوشته شده در این پژوهش..... ۱۳۲
- شکل ۴-۶: مقایسه تغییرات بهره جمع آوری نور سوسوزنی در دو سوسوزن (بدون نوربر) با هندسه های مکعبی و استوانه ای با پوشش های صیقلی و رنگ خورده..... ۱۳۴
- شکل ۴-۷: مقایسه تغییرات بهره جمع آوری نور سوسوزنی در دو سوسوزن رنگ خورده با هندسه های مکعبی و استوانه ای، متصل به نوربر با پوشش های صیقلی و رنگ خورده..... ۱۳۵
- شکل ۴-۸: نمودار تغییرات زمان طی مسیر نور در سوسوزن استوانه ای رنگ خورده با افزایش طول نوربر (صیقلی و رنگ خورده)..... ۱۳۶

- شکل ۴-۹: نمودار تغییرات زمان طی مسیر نور در سوسوزن مکعبی رنگ خورده با افزایش طول نوربر (صیقلی و رنگ خورده)..... ۱۳۷
- شکل ۴-۱۰: نمودار تغییرات قدرت تفکیک زمانی در سوسوزن استوانه‌ای رنگ خورده با افزایش طول نوربر (صیقلی و رنگ خورده)..... ۱۳۹
- شکل ۴-۱۱: نمودار تغییرات قدرت تفکیک زمانی در سوسوزن مکعبی رنگ خورده با افزایش طول نوربر (صیقلی و رنگ خورده)..... ۱۴۰
- شکل ۴-۱۲: مشارکت وابستگی به طول موج پارامترهای اپتیکی در پاسخ زمانی سوسوزن استوانه‌ای..... ۱۴۲
- شکل ۴-۱۳: مشارکت وابستگی به طول موج پارامترهای اپتیکی در پاسخ زمانی سوسوزن مکعبی..... ۱۴۲
- شکل ۴-۱۴: اثر اندازه بر ویژگی‌های زمانی آشکارساز سوسوزن استوانه‌ای..... ۱۴۳
- شکل ۴-۱۵: اثر اندازه‌ی سوسوزن بر ویژگی‌های زمانی آشکارساز سوسوزن مکعبی..... ۱۴۴
- شکل ۴-۱۶: منحنی گسیل و نمودارهای وابستگی به طول موج پارامترهای اپتیکی..... ۱۴۵
- شکل ۴-۱۷: پروفایل‌های حساسیت قدرت تفکیک انرژی سوسوزن استوانه‌ای به پارامترهای اپتیکی وابسته به طول موج ۱۴۶
- شکل ۴-۱۸: پروفایل‌های حساسیت قدرت تفکیک انرژی سوسوزن مکعبی به پارامترهای اپتیکی وابسته به طول موج ۱۴۷
- شکل ۴-۱۹: پروفایل حساسیت قدرت تفکیک انرژی سوسوزن‌های استوانه‌ای به ضریب بازتاب رنگ وابسته به طول موج و مقایسه با پروفایل سوسوزن‌های مکعبی ۱۴۸
- شکل ۴-۲۰: پروفایل حساسیت قدرت تفکیک انرژی سوسوزن‌های استوانه‌ای به ضریب تضعیف وابسته به طول موج و مقایسه با پروفایل سوسوزن‌های مکعبی..... ۱۴۸
- شکل ۴-۲۱: پروفایل حساسیت قدرت تفکیک انرژی سوسوزن‌های استوانه‌ای به بهره‌ی کوانتومی فوتوکاتد وابسته به طول موج و مقایسه با پروفایل سوسوزن‌های مکعبی..... ۱۴۹
- شکل ۴-۲۲: پروفایل‌های حساسیت قدرت تفکیک زمانی سوسوزن استوانه‌ای به پارامترهای اپتیکی وابسته به طول موج..... ۱۵۰
- شکل ۴-۲۳: پروفایل‌های حساسیت قدرت تفکیک زمانی سوسوزن مکعبی به پارامترهای اپتیکی وابسته به طول موج..... ۱۵۰
- شکل ۴-۲۴: مدار جداسازی نوترون-گاما به روش گذر از صفر..... ۱۵۴
- شکل ۴-۲۵: طیف‌های جداسازی نوترون-گاما به روش گذر از صفر با استفاده از یک آشکارساز..... ۱۵۴
- شکل ۴-۲۶: طیف جداسازی نوترون-گاما با استفاده از آشکارساز NE^{213} و نوربرهای ۴،۳ و ۵ سانتی متری..... ۱۵۵
- شکل ۴-۲۷: منحنی FOM بر حسب انرژی آستانه و برازش نمایی متناظر..... ۱۵۶

- شکل ۴-۲۸: منحنی FOM تصحیح شده بر حسب طول نوربر..... ۱۵۷
- شکل ۴-۲۹: (الف) نمودار قدرت تفکیک زمانی و زمان عبور بر حسب طول نوربر (برازش خطی روی داده‌های شبیه‌سازی) و (ب) نمودار انحراف معیار بر حسب طول نوربر (برازش چند جمله‌ای مرتبه دو)..... ۱۵۸
- شکل ۴-۳۰: سه طیف نوعی جداسازی نوترون-گاما ۱۵۹
- شکل ۴-۳۱: (الف) نمودار FOM بر حسب FWHM طیف زمانی و (ب) نمودار FOM بر حسب طول نوربر (برازش خطی)..... ۱۵۹

فصل اول

مقدمه‌ای بر آشکارسازهای سوسوزن

۱-۱- آشکارسازی ذرات

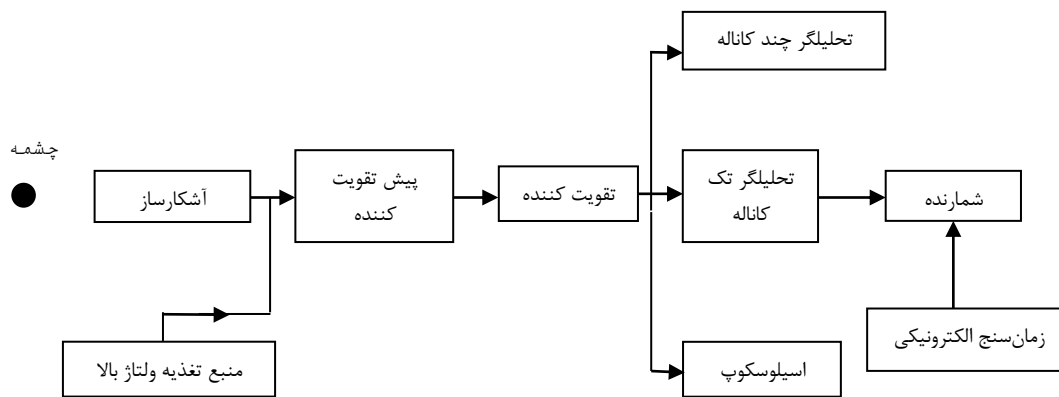
آشکارسازی ذرات عبارتست از مجموعه فرآیندهایی که در آن خصوصیتی مانند جرم، انرژی، بارالکتریکی، مسیر حرکت و ... و در مجموع نوع یک ذره حامل انرژی که در واکنش‌های هسته‌ای به وجود می‌آید، توسط دستگاهی (اغلب آشکارساز) تعیین می‌شود. فرآیند آشکارسازی متشکل از یک دستگاه آشکارساز است که بسته به نوع تابش و نیز خصوصیت مورد نظر، نوع آن فرق می‌کند. سهم عمده در آشکارسازی ذره توسط ماده‌ای متناسب با ذره تابشی در دستگاه آشکارساز انجام می‌شود و در واقع فرایند آشکارسازی نهایتاً خلاصه می‌شود در برهمکنش ذره باردار حامل انرژی با الکترون‌های مداری ماده آشکارسازی که این برهمکنش توسط مدارهای الکترونیکی آشکارساز، به یک پالس الکتریکی تبدیل می‌شود [۱].

۱-۱-۱- دستگاه‌های آشکارسازی

دستگاه‌های شمارنده بر پایه کاربردشان به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱. دستگاه‌های تپی: خروجی متشکل است از تپ‌های ولتاژ (به ازای هر ذره آشکار شده یک تپ).
۲. دستگاه‌های جریانی: خروجی عبارت است از یک مقدار میانگین که محصول آشکارسازی تعداد بسیاری ذره است.

یک دستگاه جریانی، ساده‌تر از دستگاه تپی است ولی خروجی اغلب آشکارسازها یک تپ ولتاژ است. اصول یک دستگاه تپی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: یک دستگاه آشکارساز تپی [۲]

منبع تغذیه ولتاژ بالا^۱: ولتاژ مثبت یا منفی لازم برای کار آشکارساز را تولید می‌کند. بیشتر آشکارسازها به یک ولتاژ بالای مثبت نیاز دارند. HVPS به‌گونه‌ای ساخته می‌شود که علیرغم امکان افت وخیز ولتاژ ورودی (۲۲۰ ولت متناوب)، ولتاژ بالا در خروجی خیلی کم تغییر می‌کند.

پیش تقویت کننده^۲: منظور اصلی از ساخت پیش تقویت کننده ایجاد یک جفت‌شدگی بهینه بین خروجی آشکارساز و بقیه دستگاه شمارنده است. سیگنالی که از آشکارساز بیرون می‌آید خیلی ضعیف است و پیش از آن که این سیگنال بتواند ثبت شود باید آن را تقویت کرد. اگر سیگنال در خروجی آشکارساز ضعیف باشد ممکن است در میان نوفه الکترونیکی همراه با انتقال گم شود، برای جلوگیری از این امر باید پیش تقویت کننده را تا آن جا که ممکن است نزدیک به آشکارساز قرار داد.

تقویت کننده^۳: اسباب اصلی تقویت، تقویت کننده است. تقویت کننده، سیگنال را هزار بار و یا حتی بیشتر افزایش می‌دهد.

^۱ High Voltage Power Supply

^۲ Preamplifier

^۳ Amplifier

اسیلوسکوپ^۱: اسیلوسکوپ وسیله‌ای است که مطالعه پدیده‌های در حال تغییر سریع مانند یک ولتاژ سینوسی یا تپ یک شمارنده را ممکن می‌سازد. در اندازه‌گیری تابش‌ها، اسیلوسکوپ را به منظور کنترل کیفیت سیگنال و نیز سطح نوفه الکترونیکی به کار می‌برند.

تحلیل‌گر تک‌کاناله^۲: به منظور حذف نوفه الکترونیکی و به‌طور کلی برای پس‌زدن تپ‌های ناخواسته به کار می‌رود. علت این است که به هنگام تقویت یک تپ، نوفه الکترونیکی که همواره در یک مدار حضور دارد نیز تقویت می‌شود. در بعضی موارد ممکن است بخواهیم فقط تپ‌هایی شمارش شوند که بالاتر از یک ارتفاع معین هستند. تحلیل‌گر تک‌کاناله اسبابی است که می‌تواند تپ‌های مطلوب را انتخاب کند.

تحلیل‌گر چندکاناله^۳: تحلیل‌گر چندکاناله، تپ‌ها را بر اساس ارتفاع آن‌ها ثبت و انبار می‌کند. ارتفاع تپ، رابطه معلومی با انرژی ذره‌ای که وارد آشکارساز می‌شود دارد.

شمارنده^۴: شمارشگر، ثبت‌کننده تپ‌ها است، به‌گونه‌ای که به ازای هر تپی که وارد شمارشگر می‌شود یک شماره به حاصل پیشین افزوده می‌شود. در پایان دوره شمارش، تعداد تپ‌های ثبت شده ظاهر می‌شود.

در هر عمل آشکارسازی چند ضرورت را باید مدنظر قرار داد:

هر ذره‌ای که وارد آشکارساز می‌شود باید در محل خروجی شمارنده، تولید تپی کند که از سطح پذیرش نوفه الکترونیکی دستگاه، بالاتر باشد (معمولاً این دستگاه پیش‌تقویت‌کننده است). در چنین موارد همه ذراتی که وارد آشکارساز می‌شوند آشکار خواهند شد و بازده آشکارساز که به‌صورت نسبت ذرات آشکار شده به تعداد ذرات وارد شده بر شمارنده تعریف می‌شود ۱۰۰٪ خواهد بود.

دوام تپ باید کم باشد، به‌گونه‌ای که ذراتی که یکی پس از دیگری به سرعت وارد می‌شوند تولید تپ‌های جداگانه نمایند. دوام تپ معیاری است از زمان مرگ شمارنده و ممکن است منجر به افت شمارش در نمونه‌های با آهنگ شمارش بالا شود. اگر مقصود، اندازه‌گیری انرژی ذره باشد، ارتفاع تپ باید رابطه معلومی با انرژی ذره داشته باشد. برای رسیدن به این هدف

^۱ Oscilloscope

^۲ Single Channel Analyzer

^۳ Multi Channel Analyzer

^۴ Counter

بهتر است اندازه آشکارساز طوری باشد که ذره تمام انرژی اش (یا کسر معلومی از آن) را در آن ذخیره کند. اگر دو یا چند ذره به یک اندازه انرژی در آشکارساز ذخیره کنند، تپ‌های متناظر با آن‌ها باید ارتفاع یکسانی داشته باشند. این ضرورت را با قدرت تفکیک انرژی آشکارساز بیان می‌کنند. در مطالعه یک میدان تابشی متشکل از ذراتی با انرژی‌های متفاوت، چنان‌چه هدف اندازه‌گیری این انرژی‌ها باشد، "قدرت تفکیک خوب" فوق‌العاده اهمیت دارد.

هیچ آشکارسازی وجود ندارد که تمام موارد بالا را برآورده کند. در عمل برای آشکارسازی تابش‌های گاما و نوترون نمی‌توان همه انرژی را در شمارنده ذخیره کرد. به دلیل اثرات آماری، هیچ آشکارسازی با توان تفکیک انرژی ایده‌آل وجود ندارد و تنها با انتخاب آشکارساز مناسب و انجام تصحیحات لازم بر روی داده‌ها می‌توان به هدف اندازه‌گیری نایل شد [۲].

۱-۱-۲- اصول کار دستگاه‌های آشکارساز

اصول کار اغلب آشکارسازهای تابش هسته‌ای مشابه است. تابش وارد آشکارساز می‌شود با اتم‌های ماده‌ی آشکارساز برهم‌کنش می‌کند (بخشی از انرژی خود را از دست می‌دهد) و تعداد زیادی الکترون کم‌انرژی را از مدارهای اتمی خود آزاد می‌کند. این الکترون‌ها سپس گردآوری می‌شوند و جهت تحلیل توسط مدار الکترونیکی به‌صورت یک تپ ولتاژ یا جریان در می‌آیند. انتخاب ماده مناسب برای آشکارسازی تابش به نوع تابش مورد آشکارسازی و اطلاعات موردنظر بستگی دارد. مثلاً برای ذرات آلفای حاصل از واپاشی‌های رادیواکتیو و یا ذرات باردار حاصل از واکنش‌های هسته‌ای در انرژی‌های پایین، آشکارسازهای بسیار نازک کفایت می‌کند؛ زیرا بیشینه برد این ذرات در اغلب جامدات نوعی کمتر از $100 \mu\text{s}$ است.

برای اندازه‌گیری انرژی تابش، باید آشکارسازی را انتخاب کنیم که دامنه تپ خروجی آن متناسب با انرژی باشد. پس باید ماده‌ای انتخاب شود که تعداد الکترون‌های آزاد شده در آن زیاد باشد، به این ترتیب با افت‌وخیز آماری یا با از دست دادن شمارش چند ذره، توانایی تعیین انرژی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نمی‌کند. برای تعیین زمان گسیل تابش، باید ماده‌ای را انتخاب کنیم که در آن الکترون‌ها به سرعت تبدیل به تپ شوند، در این موارد، تعداد الکترون‌های گردآوری شده از اهمیت کمتری برخوردارند. برای تعیین نوع ذره باید ماده‌ای انتخاب شود که در آن جرم و بار ذره اثر مشخصی ایجاد کند. برای اندازه‌گیری اسپین یا قطبش ذرات تابشی، باید از آشکارسازی استفاده کنیم که بتواند حالات مختلف اسپین یا قطبش را