



بیت و یکمین کنفرانس هفتای ایران

۱۷ و ۱۸ شهریور ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

بررسی مدل تحلیلی اتوره در تخمین بهره اپتیکی آشکارسازهای سوسوزن به روش مونت کارلو

مرتضی رئیسی^۱، جعفر اسماعیلی^۱ و زهرا مومنی^۲

^۱گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۲دانشگاه پیام نور - مرکز فریمان

چکیده:

در این مطالعه مدل تحلیلی ساده اتوره که برای تخمین بهره اپتیکی آشکارسازهای سوسوزن با روش کلاسیک مونت کارلو مورد آزمون قرار داده شده است. در شبیه سازی با تکیه بر خواص نوری و هندسی ماده سوسوزن و فوتوکاتد به طور عام مقدار بهره اپتیکی محاسبه میشود. نتایج مدل و شبیه سازی در محدوده خطای آماری توافق قابل قبولی را نشان میدهد.

کلید واژه: آشکارسازهای سوسوزن، بهره اپتیکی، شبیه سازی



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۱- مقدمه

امروزه در حوزه فیزیک هسته ای و ذرات بنیادی (فیزیک نوترینو، مطالعه ماده تاریک، آزمایشات واپاشی دوتایی، جداسازی نوترون-گاما، تابشهای کیهانی و غیره) به کارگیری آشکار سازهای سوسوزنی، که دارای پاسخ سریع زمانی بیشتر و قدرت تفکیک انرژی بالاتری هستند، جهت آشکار سازی تابشهای با شار پائین بسیار مهم میباشد. بهینه سازی پاسخ این نوع آشکار سازها در مرحله طراحی اهمیت زیادی دارد [۱]. این پاسخ به سه فاکتور وابسته است. بازده فوتونی، بازده نوری و ضریب تبدیل فوتوکاتد. عموماً عامل اول و سوم به با دقت خوبی قابل اندازه گیری است. اما بازده نوری یکی از کمیتهایی است که به طور مستقیم قابل اندازه گیری نیست و بر روی بهینه کردن پاسخ آشکار ساز تاثیر زیادی دارد [۲]. هر چند کدهای مختلفی چه به صورت عام مانند Geant4 و یا به صورت خاص مانند PHOTO TRACK، SCINFULL، NRESP7 جهت طراحی و شبیه سازی آشکار سازهای سوسوزن استفاده میشود. ولی در همه آنها نیاز به ترا برد تعداد خیلی زیادی ذره فرودی با در نظر گرفتن شرایط دقیقی فیزیکی مسئله (جزئیات بیشتر) مورد نظر است [۳]. اما در بعضی شرایط میتوان با یک مدل تحلیلی ساده به طور سریع و با خطای کمتری بهره یک آشکار ساز را به دست آورد. به عنوان نمونه سگرتو اتوره با استفاده از یک مدل تحلیلی ساده به طور سریع و با خطای قابل قبولی بهره اپتیکی یک آشکار ساز سوسوزن نوعی را با دانستن مشخصات کلی آن (ابعاد هندسی، طول پراکندگی، طول جذب یا طول تضعیف ماده سوسوزن، ضریب بازتاب دیوارها و ضریب بازتاب و عبور فوتوکاتد) به دست آورده است [۴]. در اینجا با استفاده از شبیه سازی ساده نشان داده شده است که اگر چه فرضهای در نظر گرفته شده در مدل اتوره بسیار ساده هستند اما با نتایج مونت کارلو و مقادیر تجربی سازگاری عالی نشان میدهد.

۲- مدل تحلیلی اتوره

در این مدل به طور خلاصه خصوصیات کلی یک آشکار ساز سوسوزن با تعیین تعدادی پارامتر مشخص میشود. الف- ماده سوسوزن با طول پراکندگی l_s و طول تضعیف یا جذب l_a در داخل یک پوششی که ابعاد هندسی و ضریب بازتاب آن به ترتیب l_0 و R میباشد قرار دارد. ب- در روی دیواره آشکار ساز یک فوتو کاتد با ضریب عبور R_w ، بازتاب T_w و پنجره ای که کسر f از سطح کل دیواره ها را پوشانده است قرار دارد. رابطه زیر بهره اپتیکی را بر حسب این پارامترها بیان میکند.

$$\epsilon_{opt} = \frac{T_w f}{Q - R(1-f) + R_w f} \quad (1)$$

فاکتور Q کمیتی است که عکس آن احتمال زنده ماندن فوتون بین دو بازتاب متوالی را نشان میدهد. این کمیت به صورت زیر به خصوصیات ماده سوسوزن و اندازه آن بستگی دارد.

$$Q = \frac{1 - (1-U)^{l_{eff}}}{U} \quad (2)$$



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

که l_{eff} طول موثر برهمکنش فوتون در محیط سوسوزن و U احتمال این که فوتون بدون برهمکنش ابعاد مشخصه یک آشکار ساز را طی کند میباشد. این کمیت برحسب طول مشخصه آشکارساز و طول موثر برهمکنش به صورت زیر است.

$$U = \frac{l_{eff}}{l_0} (1 - e^{-U})$$

که $\frac{1}{l_{eff}} = \frac{1}{l_s} + \frac{1}{l_r}$ و l_0 برای شکل هندسی منظم به صورت V/S تعریف میشود. V حجم و S سطح آشکار ساز است. برای یک مکعب به طول l ، $l_0=l$ و برای استوانه مربعی به شعاع r و طول $l=2r$ ، $l_0=l$ است.

۳-آزمون مدل با روش مونت کارلو

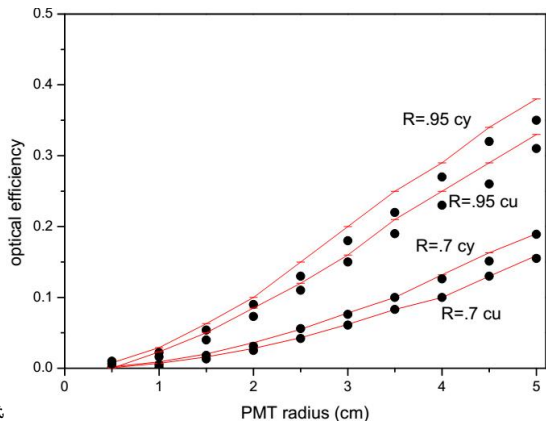
برای آزمون پیش بینی مدل اتوره برای یک آشکار ساز، شبیه سازی برای دو هندسه مختلف مکعب و استوانه مربعی انجام شده است. با توجه به اینکه محل گسیل فوتون در داخل سوسوزن بستگی به محل توقف ذره در محیط دارد. مکان تولید فوتون و جهت گسیل آن را به صورت یکنواخت در همه نقاط و به صورت همسانگرد در نظر میگیریم. سپس تراورد 10^6 فوتون در هر نقطه از سوسوزن را دنبال میکنیم. کسری از فوتونها که از پنجره فوتو کاتد عبور کند بهره اپتیکی در این نقطه خواهد بود. این مرحله برای ۱۰۰۰ نقطه تکرار کرده میشود سپس قله یا متوسط توزیع بهره ها به عنوان مقدار شبیه سازی در نظر گرفته می شود. اثر بازتاب فوتون ها از دیوارها و پنجره فوتوکاتد بر روی بهره در دو حالت بازتاب منظم و بازتاب پخش برسی شده است.

در این شبیه سازی علاوه بر پارامترهایی که در بخش ۲ اشاره شد، شعاع فوتو کاتد، و ابعاد سوسوزن نیز در نظر گرفته شده است. فوتو کاتد بر روی یکی از وجهای مکعب یا یکی از قاعدهای استوانه به صورت مرکزی قرار دارد. با تغییر دلخواه مقادیر همه پارامترها نتایج در شکلهای ۱- ۵ نشان داده شده است. نمودارهای قرمز رنگ مقادیر مدل و نقاط مشکی مقادیر شبیه سازی است. همچنین برای مقایسه بهتر مقدار خطا های آماری نشان داده نشده است. حداکثر خطا ۰/۰۴ میباشد. در شکل های ۱ و ۲ تغییرات بهره برحسب شعاع فوتو کاتد برای یک مکعب به ابعاد ۱۰ cm مربعی و یک استوانه مربعی به طول ۱۰ cm و شعاع ۵ cm برای مقادیر $l_a=100$ cm، $l_s=10$ cm، $R_w=0/3$ ، $T_w=0/5$ و $R=0/95$ در دو حالت بازتاب منظم و پخشی از دیوارها را نشان میدهد.

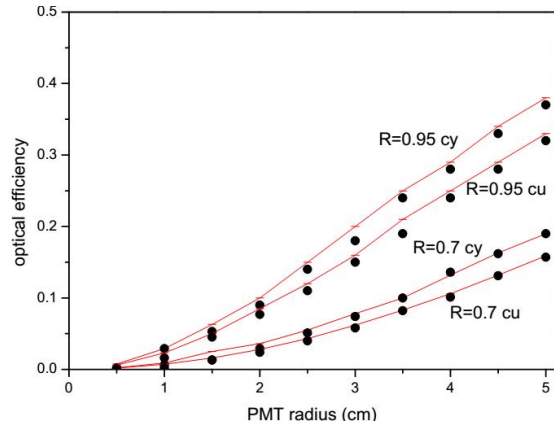


بیت و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



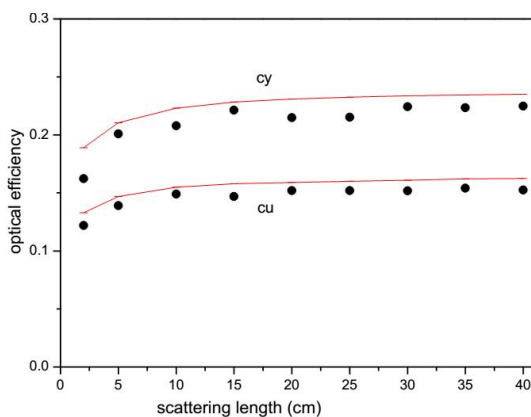
شکل ۱:



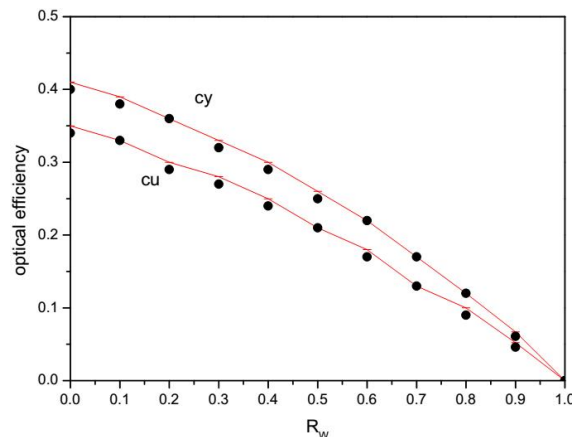
شکل ۲: بهره اپتیکی بر حسب شعاع فوتو کاتد (بازتاب منظم) بهره اپتیکی بر حسب شعاع فوتو کاتد (بازتاب پخشی)

علاوه بر سازگاری خوبی که بین نتایج مدل و شبیه سازی مشاهده می شود حالت بازتاب فوتون در دیوارها تاثیری خیلی کمی بر بهره دارد اما ضریب بازتاب که به ضریب شکست ماده سوسوزن و ماده دیواره وابسته است تاثیر قابل توجهی نشان میدهد.

شکل ۳ وابستگی بهره اپتیکی بر حسب ضریب بازتاب فوتو کاتد R_w که مقدار ضریب بازتاب دیواره ها $R=0.9$ است نشان می دهد. در این مورد نیز نتایج مدل با شبیه سازی سازگاری خوبی دارد. در پایان تاثیر طول پراکندگی و طول جذب نیز در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است. برای طولهای پراکندگی بزرگتر از ابعاد آشکارساز بهره اپتیکی تقریباً به یک مقدار ثابتی نزدیک میشود. علت آن این است که در این شرایط محیط سوسوزن برای فوتون به صورت یک محیط نامتناهی تبدیل میشود. بنابراین هر پراکندگی جدید فوتون دوباره فوتون در سوسوزن قرار میگیرد. اما با افزایش طول جذب احتمال جذب نیز کاهش می یابد و کسر بیشتری از فوتونها به فوتوکاتد برخورد میکند.



شکل ۴: بهره اپتیکی بر حسب طول پراکندگی سوسوزن

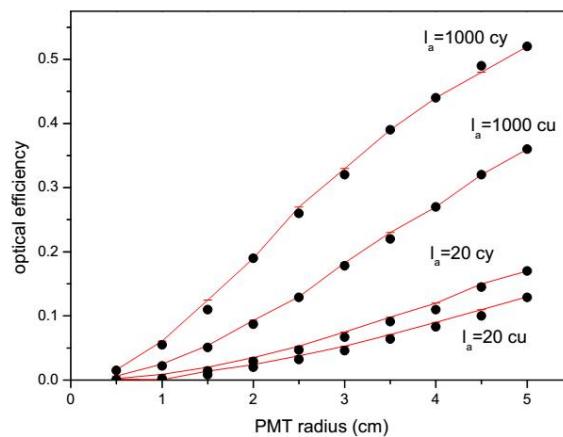


شکل ۳: بهره اپتیکی بر حسب ضریب بازتاب فوتوکاتد



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۵: بهره اپتیکی بر حسب شعاع فوتوکاتد به ازای مقادیر مختلف طول جذب

جمع‌بندی

با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو مدل تحلیلی اتوره در تخمین بهره اپتیکی آشکار سازهای سوسوزن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که این مدل توانایی پیش‌بینی نظری حداکثر بهره اپتیکی را فقط با در نظر گرفتن پارامترهای کلی آشکارساز دارد. بهترین آزمون نهایی این مدل برآورد مقدار بهره‌های تجربی تعدادی آشکارسازهای طراحی شده است که در مرحله بعدی تحقیق انجام خواهد شد.

مراجع

- [1] W.R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment*, Springer (1994).
- [2] J.B. Birks, *The Theory and Practice of Scintillation Counting*, Pergamon Press (1964).
- [3] Safar M.J. et al., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 737 (2014) 101–106.
- [4] E. Segreto, *An analytic technique for the estimation of the light yield of a scintillation detector*, JINST, 7 (2012) 05008 (arXiv:1110.6370).