



دانشگاه شهر

## حافظه‌های چندلایه شامل پلی اتیلن-لیتیوم

ابوالفضل میرجلیلی\*

دانشکده فیزیک، مجتمع علوم، دانشگاه یزد، صندوق پستی: ۸۹۱۷۵-۷۴۱

### چکیده

علی‌رغم اینکه تابش‌های زمینه معمولاً دارای شدت‌های کم‌هسته‌ای از موارد به دلیل حساسیت مستله به پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم این تابش‌ها، شناسایی منشأ و نیز حلف بخش هایی از آنها ضروری است. به عنوان مثال نوترون‌های کند با اینکه دارای انرژی کم‌هسته‌ای ولی اثرات ثانویه‌ای (همانند تولید پرتوهای گاما) که در محیط می‌گذارند قابل چشم پوشی نیستند. در حقیقت ساخت حفاظتی که در برابر نوترون‌ها پرتوهای گاما به طور همزمان مناسب باشد موضوعی است که می‌تواند باعث افزایش کارایی حفاظت گردد. مقایسه نتایج بدست آمده از برنامه شبیه سازی توسط بسته *Mulassis* برای حفاظتی دولایه از سرب و پلی‌اتیلن-لیتیوم (با خصامت‌های ۳ cm و ۱/۵ cm) با حفاظتی از جنس سرب (با خصامت ۶ cm)، نشان می‌دهد که میزان جذب نوترون و گاما در حفاظتی دولایه به ترتیب حدود ۵ و ۶ برابر حفاظت تک لایه سرب است.

واژه‌های کلیدی: حفاظت‌های چندلایه، حفاظت‌های هیدروکربنی، خودجدیب گاما، تابش‌های زمینه کوچک، گیراندازی نوترون‌ها

### مقدمه

واپاشی دوتایی از اختلالهای مرتبه دو هسته‌ای ضعیف ناشی می‌شود که بسیار کم احتمال‌تر از واپاشی‌های  $\beta$  معمولی بوده و دارای نیمه عمرهایی از مرتبه  $y^{20}$  ۱۰ هستند. لذا یکی از جاهایی که می‌شود آنها را جستجو کرد درون هسته‌هایی است که مدهای سریعتر واپاشی، نظری واپاشی  $\beta$  به دلیل حدی که برای مقدار انرژی آزاد شده  $Q$  در واپاشی داریم، مجاز نیستند. به عنوان مثال واپاشی  $^{82}_{35}Br$  به  $^{82}_{34}Se$  در حالی که واپاشی دوتایی به  $^{82}_{36}Kr$  با مقدار  $Q$  ۳ MeV مجاز است. در حقیقت یکی از سؤالاتی که در مورد واپاشی دوتایی وجود دارد این است که آیا این نوع واپاشی بدون نوتروینو امکان‌پذیر است یا نه؟ اگر نوتروینوها به جای ذرات دیراکی (نوتروینو به عنوان ذره دیراکی با پادنوتروینو متفاوت است، تفاوت آنها در هلیسیتی است - به عبارت دیگر نوتروینوها ذرات با اسپین ۱/۲ هستند که یکی از زیر حالت‌های آنها همیشه حذف شده است) که مجبور نند با سرعت نور حرکت کنند و در نتیجه بی‌جرم باشند، ذرات مازورنا (Majorana particles) (باشند (نوتروینو با پادنوتروینو فرقی ندارد و در حقیقت همواره ۷ در یکی از حالات هلیسیتی به سر می‌برد یعنی یا



دانشگاه شهرد

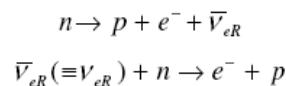
## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

راستگرد است یا چپگرد. به عبارت دیگر نوتروینوها ذرات با اسپین  $1/2$  هستند که در دو زیر حالت  $V_L$  و  $V_R$  می‌توانند قرار گیرند) واپاشی دو بتایی را می‌توان به صورت زیر تصور کرد:[۱]



که ابتدا یک واپاشی  $\beta$  انجام می‌شود ، سپس  $\bar{V}_{eR}$  که در این واپاشی آزاد شده توسط نوترون دوباره جذب می‌شود و یک  $\beta$  دیگر نیز آزاد می‌شود. بدین گونه واپاشی دوبتا ای خواهیم داشت که در آن هیچ نوتروینوی آزاد نمی‌شود (  $0\nu\beta\beta$  ). نکته دیگری که باید در اینجا به آن اشاره کرد این است که چنانچه نوتروین ذره مازورنای بدون جرم باشد امکان واپاشی دوبتا ای بدون نوتروین  $0\nu\beta\beta$  وجود ندارد. لذا بررسی چنین واپاشی‌هایی و نیز جستجوی آنها یکی از موضوعات مورد علاقه کسانی است که به دنبال یافتن جرم نوتروین هستند. محاسبه نیمه عمر واپاشی دوبتا ای بدون نوتروین، وابستگی این نیمه‌عمر را به جرم نوتروین نشان می‌دهد. یکی از آشکارسازهایی که برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد آشکارسازهای  $CdTe$  هستند (التبه اخیراً از میان این نوع آشکارسازها از  $CdZnTe$  استفاده می‌شود). در این آشکارسازها <sup>۹</sup> ایزوتوپ که طی  $0\nu\beta\beta$  واپاشی می‌کنند وجود دارد. و از میان این <sup>۹</sup> ایزوتوپ سه ایزوتوپ دارای مقادیر بالای  $Q$  هستند. در چنین آزمایش‌هایی که در زیرزمین انجام می‌شوند چندین مسئله باید آشکار شود. اولاً نیمه عمر این واپاشی‌ها بسیار پایین است، به قسمی که ممکن است در طول یک سال (برای یک نمونه عادی) در مقدار نسبتاً زیادی هسته‌های واپاشنده انتظار تعداد انگشت‌شماری واپاشی  $0\nu\beta\beta$  داشته باشیم. اگر بخواهیم مطمئن باشیم چیزی که شمرده ایم حقیقتاً  $0\nu\beta\beta$  هستند، باید تابش‌های زمینه (منشأ و میزان آنها) را شناسایی کنیم. در این کار تنها آزمایش نمی‌تواند کفایت کند، در حقیقت مقایسه آزمایش با محاسبات تخمینی و شبیه سازی‌ها برای ما منشأ این تابش‌ها را مشخص می‌کند. نکته دیگر این که باید به واپاشی‌های دیگر موجود در محیط و مواد آزمایش و نیز سطح مقطع‌های دیگری که ذا این آشکارسازها اندازه گیری می‌شوند، توجه خاص شود. آشکارسازهای  $CdZnTe$  به عنوان مثال  $Cd$ . سطح مقطع گیراندازی نوترون گرمایی بسیار بالایی دارد (چیزی در حدود  $2450$  بارن)، این موضوع از یک طرف و آزادشدن فوتون‌هایی در بازه  $Q$  های مورد نظر برای  $0\nu\beta\beta$  توسط این هسته‌ها طی گیراندازی نوترون (به ویژه  $^{113}Cd$ ) ما را به دو نتیجه اولیه می‌رساند: بنا به مشکل اول باید به محیط داخلی آزمایش توجه خاص کرد. چرا که دیگر این جا تنها منشأ تابش‌های زمینه بیرون آزمایش نیست بلکه تاثیر عوامل داخلی (به عنوان مثال حتی ظرف‌ها و یا نگهدارنده‌های آشکارسازها و ...) می‌تواند بسیار زیاد باشند. به دلیل مسئله دوم حتی کوچکترین شار نوترون حرارتی می‌تواند کل کار را مختل کند. گرچه باید به این موضوع اشاره کرد که در مورد  $Cd$  در مواردی که گاما‌های تولید شده در



دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

بازه انرژی مورد توجه ما قرار ندارند، امکان پرتوزایی القایی نیز وجود دارد. در این کار توجه ما بیشتر به مسئله دوم معطوف است. یعنی چگونه می‌شود در این کار حفاظت مناسبی در برابر نوترون‌ها درست کرد؟ در مسایلی که با نوترون‌های کند و حرارتی سرو کار داریم و می‌خواهیم این نوترون‌ها را حذف کنیم، همیشه با گام‌هایی روبرو هستیم که اغلب هم خواستنی نیستند. بنا بر این مسئله ما تنها حفاظت در برابر نوترون‌ها نیست بلکه در اینجا باید به فوتون‌هایی هم که در حفاظ آزاد می‌شوند توجه کرد. این موضوع توجه خاصی را می‌طلبد چرا که معمولاً نوترونهای کند و میانی با احتمال زیادی گیراندازی می‌شوند.

## فرایند حذف نوترون

فرایند حذف نوترون‌ها معمولاً شامل دو مرحله است؛ ابتدا کندسازی و سپس گیراندازی. کندسازی نوترون‌ها که طی فرآیندهای الاستیک انجام می‌شود می‌تواند به سرعت و برای مواد متفاوتی انجام شود. گرچه ترجیح می‌دهیم حتی در این مرحله نیز گام‌های غیرمنتظره ظاهر نشوند. اما گیراندازی نوترون می‌تواند طی فرآیندهای متفاوتی انجام شود. (همانند ... $(n,\gamma)$ ,  $(n,t)$ ,  $(n,\alpha)$ ). به نظر می‌رسد در این مورد انتخاب فرآیندی که از گاما دوری می‌کند، مناسب باشد. عناصر سبک به ویژه H موثرترین کندسازهای نوترون هستند، به قسمی که هیدروژن می‌تواند طی یک تک برخورد تمام انرژی نوترون را جذب کند. به همین دلیل از ترکیبات مناسب آن در موارد مختلف استفاده می‌شود. از نظر تاریخی آب و پارافین مواد قابل توجهی بودند که در حفاظهای اولیه در برابر نوترون مورد استفاده قرار می‌گرفتند. اما در مسئله مورد نظر ما به کار مانمی آیند که این امر می‌تواند هم ناشی از نوع این مواد می‌شود و هم اینکه این مواد کارایی مناسب و لازم را ندارند. یکی از کندسازهای موثر دیگر که آن هم هیدروژن دارد پلی اتیلن است و معمولاً در آشکارسازها نیز از آن استفاده می‌شود. ضعف این ماده در این است که برخلاف سرب (سرب اصولاً حفاظ نسبتاً خوبی در برابر بسیاری از تابش‌های خود جذبی گام‌ای پایینی دارد).

با توجه به مطلبی که درباره فرایندهای گیراندازی نوترون به آن اشاره شد، بررسی تاثیر انتخاب فرایند  $(n,\alpha)$  برای این کار نتایج جالبی به بار می‌آورد. Li و B عناصری هستند که در چنین گیراندازی‌هایی شرکت می‌کنند. بنابراین شاید استفاده از ترکیب‌هایی که این دو عنصر در آنها حضور داشته باشند مناسب باشد! در بعضی آشکارسازهای نوترون از چنین لایه‌بندی‌هایی استفاده می‌شود. به عنوان مثال کره‌های بونر (Bonner) کره‌های کندساز پلی اتیلنی هستند که در مرکز آنها آشکارسازهای کوچک LiI(Eu) قرار می‌گیرد. برای حفاظت از  $B_2O_3$  در جهات مختلف از کره‌های بونر به عنوان لایه زیری برای گیراندازی استفاده می‌شود [۲].



دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

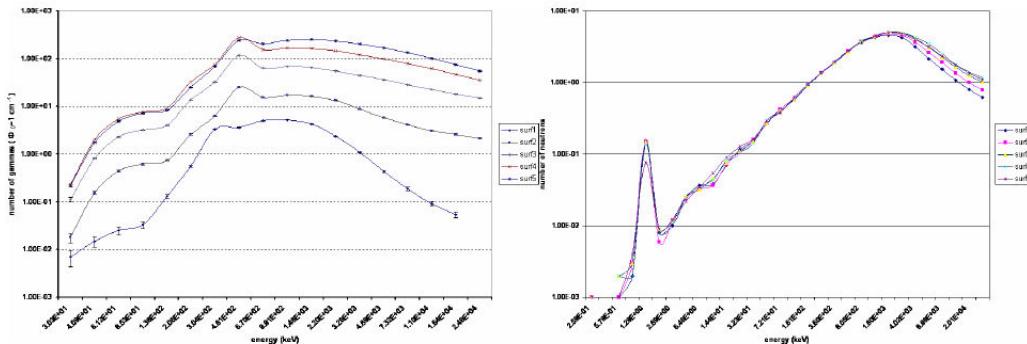
۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

ماده‌ای که برای این منظور درنظر گرفته شد پلی اتیلن-لیتیوم است. برای مقایسه‌های اولیه سرب به تنها و یک حفاظ دولایه شامل سرب و پلی اتیلن-لیتیوم (PE-Li) در نظر گرفته شده است.<sup>[۳]</sup> شبیه‌سازی‌ها توسط Mulassis (MULTI-LAYered SHielding SImulation Software) انجام گرفته اند.<sup>[۴]</sup>

معرفی بسته **Mulassis** و نتایج

Mulassis یک بسته شبیه‌سازی است که برپایه Geant4 برای بررسی حفاظ‌های چند لایه طراحی شده. این بسته عمدتاً برای صنایع فضایی درنظر گرفته شده، علی‌رغم این موضوع از آنجا که برپایه Geant4 ساخته شده به راحتی قابلیت استفاده در موارد دیگر را نیز دارد. نکته مهم در استفاده از این بسته انتخاب مناسب سناریو فیزیکی برای مسئله مورد نظر است.

همان طور که گفته شد مسئله اصلی شامل یک حفاظ دو لایه است، یک لایه سرب به ضخامت ۳ cm که نوترون‌های ما ابتدا به آن برخورد می‌کنند و یک لایه PE-Li به ضخامت ۱/۵ cm که بلافصله بعد از سرب قرار گرفته است. برای نوترون‌های تابیده از طیف LNG استفاده می‌شود. این طیف از آزمایشگاه Gran Sasso به دست آمده است. برای مقایسه شبیه‌سازی‌های دیگری برروی سرب، PE-Li انجام شده است. نتایج خواسته شده شامل شار نوترون‌ها و فوتون‌ها در لایه‌بندی‌های مورد نظر است (برای سرب تعداد چهار لایه ۱/۵ cm درنظر گرفته می‌شود).



شکل ۱: شار نسبی نوترون‌ها و فوتون‌ها در حفاظ تک لایه، حاصل از اجرای برنامه Mulassis.



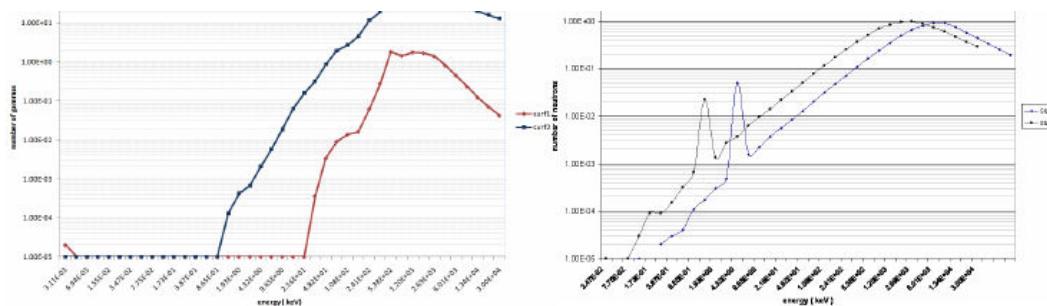
دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد



شکل ۲: شار نسبی نوترون‌ها و فوتون‌ها در حفاظت دولایه، حاصل از اجرای برنامه Mulassis

دوباره یادآور می‌شویم که تلاش برای یافتن محافظتی بوده است که قابلیت جذب گاما و نوترون بالایی را داشته باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شکل‌های بالا آمده است: (البته شبیه‌سازی هایی نیز برای بررسی خودجذبی این حفاظت‌ها قابل انجام است)

## نتیجه‌گیری

بررسی خروجی‌ها و روند شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط بسته Mulassis در سیستم عامل Linux برای ما این موضوع را آشکار کرد که هنگام فرایند کننسازی در لایه‌های مختلف سرب، میزان قابل توجهی نوترون در خلاف جهت تراپرد شار اولیه آزاد می‌شود. این خود عاملی است که منجر به کاهش عملکرد سرب به منظور حفاظت در برابر نوترون‌ها و پرتوهای گاما می‌شود. بررسی‌های اولیه ما نشان می‌دهد علی‌رغم خودجذبی نسبتاً خوب سرب برای پرتوهای گاما، بکارگیری ماده‌ای که از تولید گاما هنگام گیراندازی نوترون پرهیز کند، به مراتب نتایج بهتری به بار می‌آورد. از این‌رو حفاظت دولایه شامل سرب و پلی‌اتیلن-لیتیوم بررسی شده است. نتایج در شکل‌های او آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود حفاظت دولایه در جذب نوترون‌ها و پرتوهای گاما بهتر عمل می‌نماید.

## مراجع

- [1] Donald H. Perkins, Introduction to High Energy Physics, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 284-287, 2000.
- [2] دکتر صمد راستی‌کردار، محمدحسین نادری، مبانی حفاظت در برابر پرتوها، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۱۳۷۹.
- [3] D.Y. Stewart, P.F. Harrison, B. Morgan, Y. Ramachers , Radiation shielding for underground low-background experiments, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 571, 651–662, 2007.
- [4] F. Lei, P. R. Truscott, C. S. Dyer, B. Quaghebeur, D. Heynderickx, P. Nieminen, H. Evans, E. Daly, MULASSIS: a Geant4-based multilayered shielding simulation tool, IEEE Transactions in Nuclear Science 49, 2788–2793, 2002.
- [5] S. Agostinelli, J. Allison, 125 co-authors, Geant4 – a simulation toolkit, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 506, 250–303, 2003.