



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## ارائه روشی غیر مستقیم برای اندازه گیری طیف انرژی یک چشمه الکترون با استفاده از مشخصه های تابش ترمزی

ندا، شمسیان: بابک، شیرانی پیدآبادی: حسین، پیرجمادی

دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوریهای نوین، گروه مهندسی هسته‌ای

### چکیده:

در این تحقیق، برای تعیین طیف انرژی پرتو الکترونی از یک روش ابتکاری که بر مبنای اندازه گیری طیف تابش ترمزی قرار دارد، استفاده شده است. در روش ارائه شده، با استفاده از اصل برهم نهی، معادله ماتریسی بین طیف انرژی الکترون و طیف تابش ترمزی استخراج شد و مقادیر ماتریس ضرایب این معادله، با شبیه سازی مساله توسط کد MCNPX، بدست آمد. برای ارزیابی این روش، طیف چشمه  $^{90}\text{Sr}$ ، با استفاده از تابش ترمزی ناشی از برخورد الکترون‌ها به هدف تنگستنی که توسط آشکارساز HPGE ثبت شده است، اندازه گیری شد. همچنین دقت این روش با شبیه سازی یک طیف فرضی الکترون توسط کد MCNPX بررسی شد. در هر دو مورد، طیف انرژی الکترون با دقت بالایی توسط این روش تعیین شد.

کلیدواژه: طیف انرژی، باریکه الکترونی، تابش ترمزی، کد MCNPX

### مقدمه

از آنجا که بدست آوردن طیف الکترون در دستگاه‌هایی که امکان خروج باریکه الکترونی از دستگاه وجود ندارد و نصب آشکارساز برای اندازه‌گیری طیف الکترون درون دستگاه سخت و هزینه‌بر است در این کار سعی شده است روشی جدید برای اندازه‌گیری طیف الکترون به صورت غیر مستقیم و با اندازه گیری تابش ترمزی، ارائه شود. در برخورد الکترون با ماده احتمال اندرکنش‌های مختلفی مانند یونش و برانگیزش، گسیل تابش ترمزی، گسیل تابش چرنکوف و اثر پس‌پراکندگی وجود دارد که در این تحقیق، اثر تابش ترمزی مد نظر می‌باشد. هنگامی که یک ذره باردار در حال حرکت در اثر میدان الکتریکی حاصل از بارهای دیگر شتاب بگیرد با توجه به نظریه الکتروپدینامیک کلاسیک بخشی از انرژی خود را به واسطه تغییر سرعت به صورت تابش ایکس از دست می‌دهد که به آن تابش ترمزی می‌گویند [۲].

### روش کار

در این روش، طیف انرژی یک پرتو الکترونی به  $n$  بازه  $(E_0, E_1, E_2, \dots, E_n)$  و طیف انرژی تابش ایکس ترمزی به  $m$  بازه  $(E_0, E_1, E_2, \dots, E_m)$  تقسیم می‌شود. بنابر اصل برهم نهی یا جمع آثار، شدت ایکس تولید شده در



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

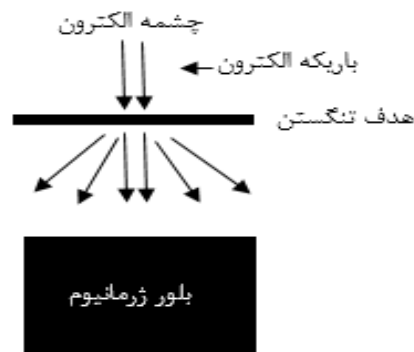
۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

هر بازه انرژی، برابر با مجموع شدت های ایکس تولید شده توسط هر یک از  $n$  بازه انرژی الکترون بصورت جداگانه می باشد. این رابطه را می توان به صورت یک معادله ماتریسی نوشت. یک معادله ماتریسی ۴ مجهولی در زیر نشان داده شده است.

$$(1) \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{bmatrix}$$

$A_i$  ها شدت های تابش ترمزی و  $C_i$  ها، شدت های پرتو الکترون در  $\epsilon$  بازه انرژی هستند. ماتریس ضرایب در این معادله، توسط شبیه سازی محاسبه می شوند.  $K_{ij}$  نشان دهنده سهم نسبی تاثیر الکترون های بازه انرژی  $i$  ام در تولید تابش ترمزی در بازه انرژی  $j$  ام است. ماتریس ضرایب  $K$  کاملاً وابسته به هندسه آزمایش است.

در این پژوهش برای بررسی دقت و کارایی روش ارائه شده، طیف الکترون چشمه  $^{90}\text{Sr}$  اندازه گیری شد. برای اندازه گیری طیف انرژی الکترون این چشمه، هندسه آزمایش به صورت شکل (۱) اجرا شد. چشمه بتازا و هدف تنگستن بر روی درپوش آلومینیومی آشکارساز HPGe قرار داده شدند و طیف تابش ترمزی تولید شده اندازه گیری شد.



شکل ۱ - چیدمان آشکارساز برای اندازه گیری تجربی

چشمه بتازای  $^{90}\text{Sr}$  دارای نیمه عمر ۲۸/۱ سال و از قوی ترین و پویاترین ساطع کننده های تابش بتا است که تاکنون شناخته شده است. هسته های ایزتوپ  $^{90}\text{Sr}$  در هنگام واپاشی بتا به هسته دختر  $^{90}\text{Y}$  تبدیل می شود و همین طور هسته دختر نیز بتازا است. باریکه الکترونی این چشمه به هدفی از جنس تنگستن به ضخامت ۰/۲cm اصابت می کند و با برخورد باریکه الکترونی به هدف تابش ترمزی تولید می شود.



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ و دانشگاه اصفهان

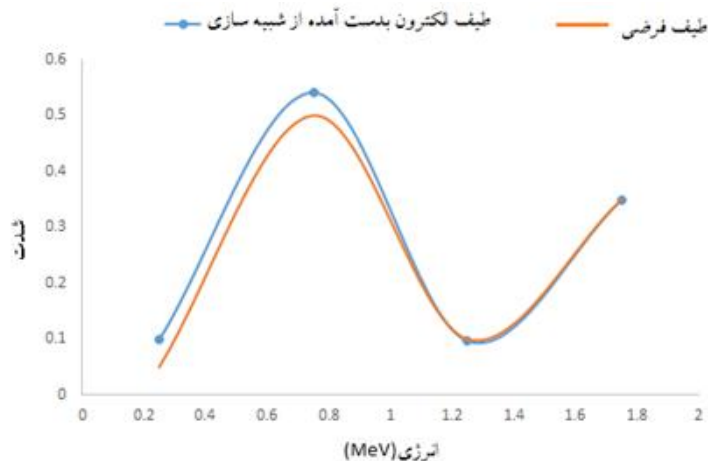
با استفاده از کد MCNPX هندسه آزمایش مورد نظر شبیه سازی شد و ضرایب ثابت ماتریس  $k_{4 \times 4}$  به شکل زیر محاسبه شد:

$$k_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 1.57 \times 10^{-4} & 6.51 \times 10^{-4} & 1.03 \times 10^{-3} & 1.43 \times 10^{-3} \\ 0 & 3.08 \times 10^{-6} & 2.03 \times 10^{-5} & 4.75 \times 10^{-5} \\ 0 & 0 & 9.31 \times 10^{-7} & 6.85 \times 10^{-6} \\ 0 & 0 & 0 & 4.92 \times 10^{-7} \end{bmatrix}$$

ماتریس فوق اصطلاحاً یک ماتریس بد-وضعیت است. به عبارت دیگر چنانچه خطایی در محاسبه ضرایب ماتریس فوق وجود داشته باشد؛ که قطعا در محاسبات مونت کارلو عدم قطعیت آماری وجود دارد؛ این خطا، با ضرایب بسیار بزرگ، در نتایج محاسبه طیف منتشر می شود. طبق بررسی های انجام شده در این تحقیق، هرچه این ماتریس بزرگ تر انتخاب شود، عدد وضعیت ماتریس که نشان دهنده میزان بد-وضعیت بودن آن است، به شدت افزایش می یابد. در این صورت لازم است که در محاسبه این ضرایب به روش مونت کارلو، عدم قطعیت های آماری به اندازه کافی کاهش یابند. در این تحقیق حتی با در اختیار داشتن سامانه پردازش سریع گروه مهندسی هسته ای دانشگاه اصفهان، و در مدت زمان چند روز، نمی توان با ماتریس های بزرگتر از ۴ در ۴ را با خطای مناسب محاسبه کرد. البته برای ماتریس ۴ در ۴ محاسبه شده، دقت محاسبه طیف مناسب بوده و برای تایید کارایی این روش جدید، کفایت می کند.

## ۱- ارزیابی روش جدید با استفاده از کد MCNPX

برای ارزیابی روش، یک چشمه الکترون با یک طیف انرژی فرضی، در نظر گرفته شد. با استفاده از طیف تابش ایکس بدست آمده در شبیه سازی، طیف الکترون به روش غیرمستقیم محاسبه شد. نتایج محاسبه غیر مستقیم طیف الکترون در مقایسه با طیف اصلی، در شکل (۲) ارائه شده اند. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، روش جدید، دقت بسیار خوبی در اندازه گیری طیف الکترون دارد.





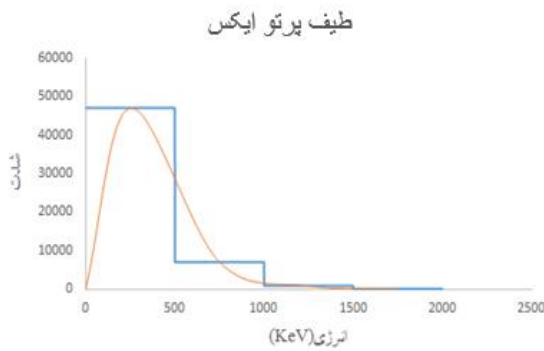
# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

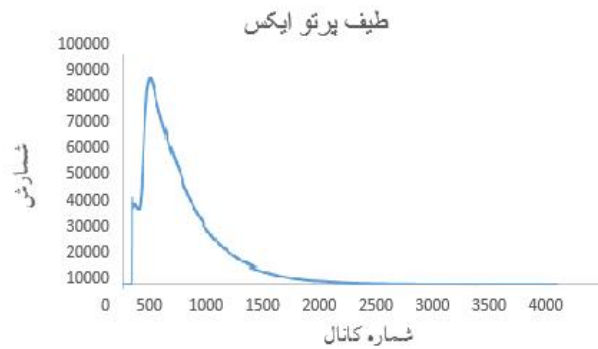
شکل ۲- طیف الکترون فرضی و طیف بدست آمده از شبیه سازی

۲- اندازه گیری طیف الکترون با استفاده از طیف تابش ترمزی بدست آمده از آزمایش

در این مرحله از چشمه استرانسیوم ۹۰ که درون یک حفاظ و همسوساز از جنس پلی اتیلن قرار گرفته است استفاده شد. استفاده از همسوساز، یک باریکه الکترونی تک جهت از الکترون‌ها در اختیار قرار می‌دهد. این باریکه به یک قرص تنگستن اصابت کرده و پرتوهای ایکس ترمزی تولید می‌کند. شکل (۳-الف)، طیف تابش ایکس ترمزی ثبت شده توسط آشکار HPGGe را نشان می‌دهد که در شکل (۳-ب) در چهار بازه انرژی نشان داده شده است. با قرار دادن شدت‌های ایکس در معادله (۱) طیف الکترون به روش غیر مستقیم محاسبه شد. نتایج حاصل از محاسبه طیف الکترون به روش غیر مستقیم، در شکل (۴-ب) نشان داده شده است این طیف با طیفی که از چشمه استرانسیوم ۹۰ ارائه شده است (۳-ب) مطابقت دارد.

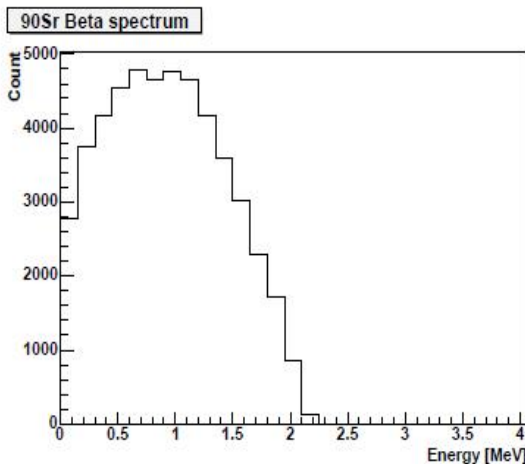


ب

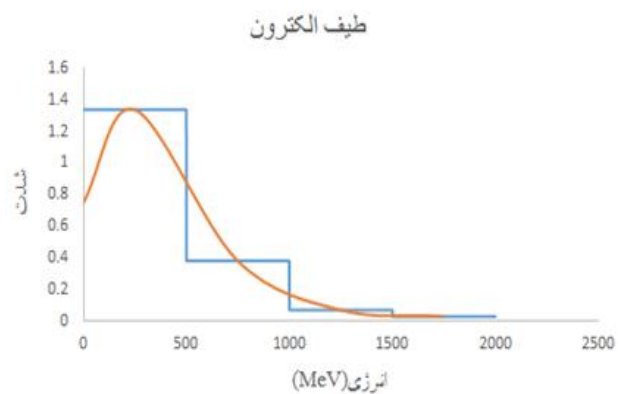


الف

شکل ۳-الف) طیف تابش ایکس ترمزی ثبت شده توسط آشکار HPGGe (ب) طیف تابش ایکس ترمزی ثبت شده توسط آشکار HPGGe در چهار بازه



الف



ب



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شکل ۵-الف) طیف الکترون چشمه استرانسیوم ۹۰ (ب) طیف الکترون محاسبه شده در این پژوهش

## نتیجه گیری:

با استفاده از یک روش ابتکاری بر پایه اصل برهم نهی، سهم الکترون‌ها در بازه‌های مختلف انرژی در تولید تابش ایکس توسط کد شبیه‌سازی MCNPX محاسبه شد و ماتریس ضرایب بدست آمد. صحت این روش توسط کد مذکور سنجیده شد و نتیجه بدست آمده با طیف فرضی چشمه مورد نظر هم‌خوانی داشت. با استفاده از این روش طیف انرژی الکترون چشمه استرانسیوم ۹۰ نیز به صورت غیر مستقیم و با استفاده از طیف تابش ترمزی حاصل از برخورد این الکترون‌ها به هدف تنگستنی محاسبه شد که طیف بدست آمده با طیفی که برای این چشمه ارائه شده است، تطابق خوبی دارد.

## مراجع:

- [1] R. S. Rawat, and et. al, Soft X-ray Imaging using a Neon Filled Plasma Focus Xray Source, Journal of Fusion Energy, Vol. 23, No. 1, (March 2004).
- [2] Karim Laihem and Desy-Zeuthen, Spectrometer calibration using mermaid field map ( $\mu=4$ ) and a 1mCi  $^{90}\text{Sr}$  source (Geant4-based simulation study), September 28 (2006).