یک طیف‌سنج پرتقالی برای بررسی الکترون‌های تبدیل داخلی

INC29-1120

سونیا سرفرازی*، مسلم سوهانی

گروه فیزیک، دانشکده‌ی فیزیک و مهندسی هسته‌ای، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

چکیده:

مطالعه و طیف‌سنجی الکترون تبدیل داخلی حاوی اطلاعات مهمی در مورد هسته، ترازهای هسته‌ای و ساختار واپاشی هسته است. ازاین‌رو ابزار و دستگاه‌های متعددی برای طیف‌سنجی الکترون تبدیل داخلی ساخته و تجهیز شده‌اند. یکی از این ابزارها طیف‌سنج پرتقالی یا به‌اختصار MOS است. در این مقاله، ابتدا طیف‌سنج پرتقالی و عملکرد آن به‌عنوان یک طیف‌سنج مناسب برای اندازه‌گیری الکترون تبدیل داخلی معرفی شده است، سپس میدان مغناطیسی حاکم بر این طیف‌سنج با استفاده از نرم‌افزار CST شبیه‌سازی شده است. پس‌ازآن، به بررسی پارامترهای تعداد، ضخامت و شکل آهن‌رباهای فیلتر مغناطیسی در طیف‌سنج پرتقالی پرداخته شده است و فاصله کانونی این طیف‌سنج برای فیلتر مغناطیسی با تعداد و ضخامت‌های مختلف آهن‌ربا و همچنین دو شکل گوه‌ای و مستطیل شکل آهن‌ربا با استفاده از نرم‌افزار CST شبیه‌سازی و محاسبه شده است. درنهایت فاصله کانونی‌های شبیه‌سازی‌شده توسط نرم‌افزار CST در چیدمان‌های مختلف باهم مقایسه شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: طیف‌سنج پرتقالی، طیف‌سنجی، تبدیل داخلی.

A Mini-Orange Spectrometer to Study Internal Conversion Electrons

S. Sarfarazi* , M. Sohani

Faculty of Physics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Abstract:

Spectroscopy of internal conversion electrons is accompanied by valuable information about nuclei, nuclear states, and the decay scheme of nuclei. Therefore, in order to measure these electrons, various instruments have been equipped, namely Mini-Orange Spectrometer (MOS). In the present work, the MOS and it's operation as an appropriate device for internal conversion measurement is introduced initially; and it's magnetic field is simulated using CST software. Then, different numbers, thicknesses, and shapes of permanent magnets in the magnetic filter are studied; and the focal length for each parameter is simulated and calculated using CST software. Finally, the retrieved focal lengths in different configurations of MOS are compared.

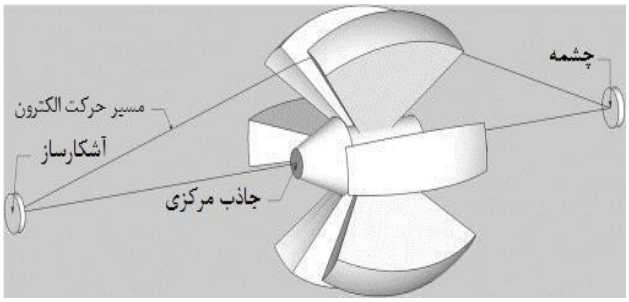
Keywords: Mini-Orange Spectrometer, Spectroscopy, Internal Conversion.

۱. مقدمه

مطالعه و طیف‌سنجی الکترون تبدیل داخلی بخش مهمی از طیف‌سنجی هسته‌ای به شمار می‌رود. ازجمله کاربردهای آن می‌توان به تعیین اسپین و پاریته‌ی ترازهای هسته‌ای و مرتبه‌ی چندقطبی گذارها و نیز بررسی ساختار هسته و ساختار واپاشی هسته اشاره کرد [۱].

ابزار و دستگاه‌های مختلفی برای اندازه‌گیری الکترون تبدیل داخلی استفاده می‌شوند؛ مانند طیف‌سنج SAGE [۲]، طیف‌سنج پرتقالی (MOS) [۳].

طیف‌سنج پرتقالی اولین بار توسط فَن کلینکن[1] در سال ۱۹۷۲ و برای طیف‌سنجی الکترون تبدیل داخلی ساخته شد [۳]. شکل ۱ یک نمونه طیف‌سنج پرتقالی را نشان می‌دهد که شامل مجموعه‌ای از آهن‌رباهای دائمی کوچک به‌عنوان فیلتر مغناطیسی و جاذب مرکزی است که بین چشمه و آشکارساز قرار می‌گیرد. آهن‌رباهای فیلتر مغناطیسی از جنس مواد نادر خاکی مانند $SmCo_5$ هستند و به‌صورت متقارن اطراف جاذب مرکزی قرار می‌گیرند و یک میدان مغناطیسی چنبره‌ای قوی تولید می‌کنند. الکترون‌های خارج‌شده از چشمه، تحت تأثیر این میدان به سمت آشکارساز منحرف می‌شوند [۴].



شکل ۱. یک نمونه طیف‌سنج پرتقالی شامل آهن‌رباهای دائمی در اطراف جاذب مرکزی، چشمه و آشکارساز [۴].

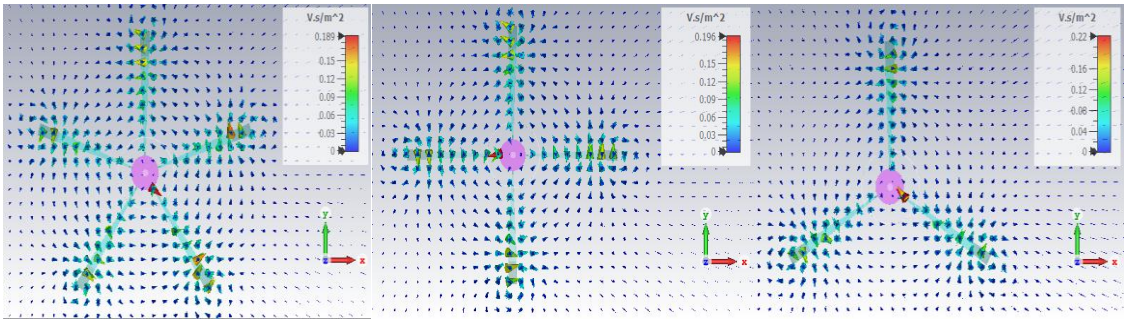
مزیت MOS در اندازه‌ی کوچک و توانایی تفکیک الکترون‌ها در بازه‌ی انرژی گسترده است؛ همچنین، استفاده از MOS با توجه به ساختار و میدان مغناطیسی حاکم بر آن، ذرات پس‌زمینه را در اندازه‌گیری‌ها به حداقل می‌رساند.

ذرات پس‌زمینه می‌تواند شامل ذرات γ، X، α، β^+، β^- و δ باشد. پرتوهای γ، X، α و βهای پرانرژی به‌وسیله‌ی جاذب مرکزی حذف‌شده، ذرات β^+ توسط فیلتر مغناطیسی از آشکارساز منحرف می‌شوند و پرتوهای δ با انتخاب یک بازه‌ی انرژی مناسب برای الکترون‌هایی که با بهره‌ی مناسب به آشکارساز می‌رسند کاهش می‌یابند [۵].

۲. شبیه‌سازی میدان مغناطیسی در طیف‌سنج پرتقالی

توزیع فضایی میدان مغناطیسی به تعداد، شکل و مغناطش آهن‌رباها بستگی دارد [۶]. در این مقاله، توزیع میدان مغناطیسی MOS با آهن‌رباهای گوه‌ای شکل و مغناطش یکنواخت در راستای سمتی، برای سه حالت مختلف فیلتر مغناطیسی با تعداد ۳ (شکل۲-الف)، ۴ (شکل۲-ب) و ۵ آهن‌ربا (شکل۲-ج) با استفاده از نرم‌افزار CST شبیه‌سازی شده است.

الف) ب) ج)



شکل۲. توزیع میدان مغناطیسی طیف‌سنج پرتقالی شبیه‌سازی‌شده با استفاده از نرم‌افزار CST برای

[1] Van Klinken

الف) فیلتر مغناطیسی با سه آهن‌ربا ب) چهار آهن‌ربا ج) پنج آهن‌ربا.

۳. پارامترهای مؤثر بر فاصله کانونی طیف‌سنج پرتقالی

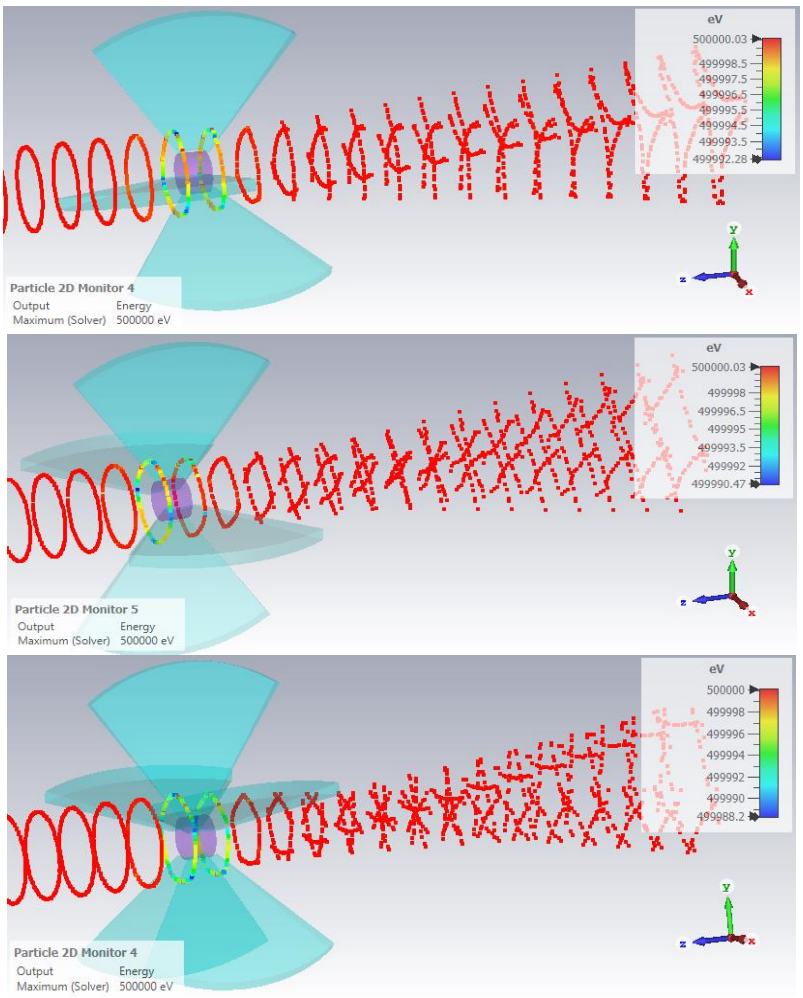
فیلتر مغناطیسی شبیه به یک لنز مغناطیسی همگرا کننده عمل می‌کند. الکترون‌های تبدیل داخلی که در یک بازه‌ی انرژی خاص قرار دارند، با فیلتر مغناطیسی به داخل آشکارساز متمرکز می‌شوند. برای یک انرژی ثابت الکترون، فیلتر مغناطیسی طبق رابطه‌ی اپتیکی زیر عمل می‌کند [۷]:

$$\frac{۱}{f}=\frac{۱}{g}+\frac{۱}{b} \qquad (۱)$$

که در این رابطه، f فاصله کانونی، g فاصله‌ی شیء یعنی فاصله‌ی چشمه تا مرکز فیلتر و b فاصله‌ی تصویر یعنی فاصله‌ی آشکارساز تا مرکز فیلتر است. در ادامه، اثر پارامترهای تعداد، ضخامت و شکل آهن‌رباهای فیلتر مغناطیسی بر فاصله کانونی MOS شبیه‌سازی و گزارش شده است.

۳.۱ اثر تعداد آهن‌رباها بر فاصله کانونی طیف‌سنج

تعداد آهن‌رباها در فیلتر مغناطیسی می‌تواند متفاوت باشد. در این کار برای تعداد ۳، ۴ و ۵ آهن‌ربای گوه‌ای شکل با ضخامت ۵°، فاصله کانونی را برای MOS با استفاده از نرم‌افزار CST شبیه‌سازی کرده‌ایم. در همه‌ی شبیه‌سازی‌ها مقدار مغناطش آهن‌رباها $B_r = ۰/۵\ T$ و ذرات، الکترون‌هایی با انرژی ۵۰۰keV که به‌صورت موازی از چشمه‌ی واقع در بی‌نهایت به سمت MOS می‌آیند، در نظر گرفته شده است. رد الکترون‌ها در فواصل مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق با شکل، هرچه تعداد آهن‌رباها افزایش می‌یابد فاصله کانونی کمتر می‌شود. مقدار فاصله کانونی‌ها در جدول ۱ درج شده است.



شکل ۳. سه آرایش مختلف فیلتر مغناطیسی با ۳، ۴ و ۵ آهن‌ربا در طیف‌سنج پرتقالی با استفاده از نرم‌افزار CST شبیه‌سازی‌شده و رد الکترون‌های عبوری از این فیلترها در فواصل مختلف نشان داده شده است.

جدول ۱. مقدار فاصله کانونی طیف‌سنج پرتقالی برای تعداد مختلف آهن‌ربا در فیلتر مغناطیسی

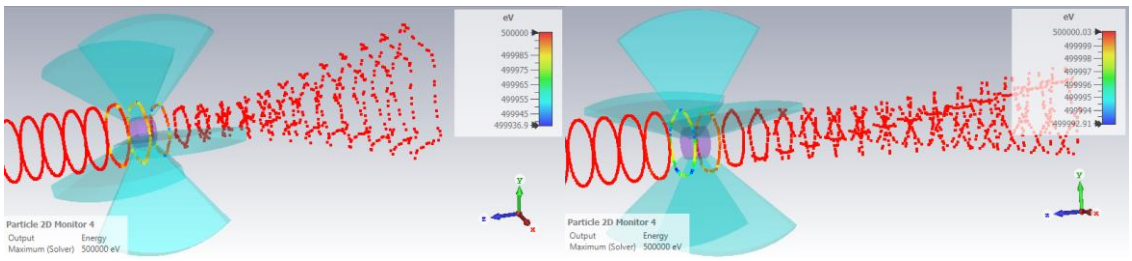
تعداد آهن‌ربا	فاصله کانونی (mm)
۳	۷۰٫۳۲
۴	۵۹٫۹۹
۵	۵۳٫۷۷

۲.۳ اثر ضخامت آهن‌رباها بر فاصله کانونی طیف‌سنج

طراحی آهن‌رباهای گوه‌ای شکل در فیلتر مغناطیسی را با پنج ضخامت مختلف در نرم‌افزار CST انجام داده و فاصله کانونی را برای هر ضخامت شبیه‌سازی کردیم. در جدول ۲ مقادیر فاصله کانونی به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی ارائه شده است. شکل ۴ رد الکترون‌ها در فواصل مختلف برای دو حالت آهن‌ربا با ضخامت‌های میانگین ۱/۳۱mm و ۲/۶۳mm را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقدار فاصله کانونی به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی برای ضخامت‌های مختلف آهن‌ربای گوه‌ای شکل در فیلتر مغناطیسی طیف‌سنج پرتقالی

ضخامت میانگین آهن‌ربای گوه‌ای (mm)	فاصله کانونی (mm)
۰/۶۵	۱۲۸
۱/۳۱	۷۰/۳۲
۱/۹۷	۴۵/۵
۲/۶۳	۳۵/۶۷
۳/۲۹	۲۴/۱۳



شکل۴. رد الکترون‌های عبوری از طیف‌سنج پرتقالی برای دو حالت آهن‌ربای گوه‌ای با ضخامت‌های میانگین(الف) ۱/۳۱mm و(ب) ۲/۶۳mm

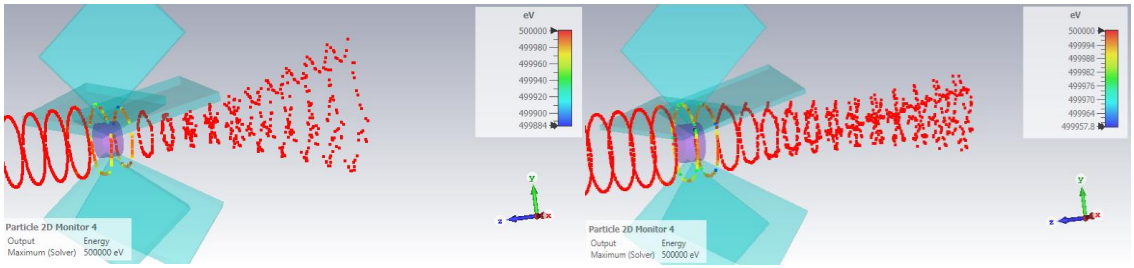
۳.۳ اثر شکل آهن‌رباها بر فاصله کانونی طیف‌سنج

آهن‌رباها در فیلتر مغناطیسی می‌توانند به شکل‌های مختلفی طراحی شوند. در این تحقیق، دو شکل گوه‌ای و مستطیلی را با استفاده از نرم‌افزار CST طراحی، و مقدار فاصله کانونی طیف‌سنج را برای چند ضخامت مختلف در آن‌ها مقایسه کرده‌ایم. در جدول ۳ مقادیر فاصله کانونی به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی برای آهن‌رباهای مستطیل شکل آمده است. شکل ۵ رد الکترون‌های عبوری از MOS با آهن‌رباهای مستطیل شکل برای دو ضخامت ۱/۳۱mm و ۲/۶۳mm را نشان می‌دهد. نمودار مقایسه‌ی فواصل کانونی براساس مقادیر جدول‌های ۲ و ۳ در شکل ۶ فهرست شده است.

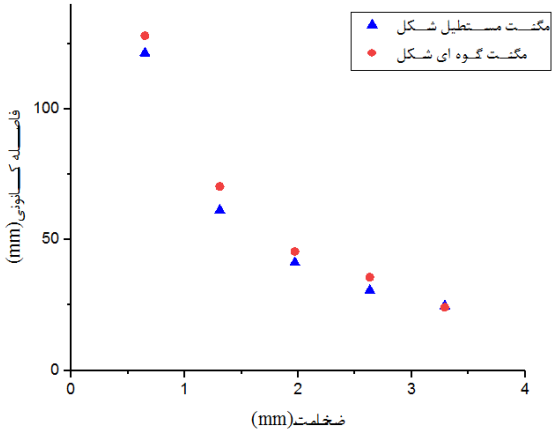
جدول ۳. مقدار فاصله کانونی به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی برای ضخامت‌های مختلف آهن‌ربای مستطیلی در فیلتر مغناطیسی طیف‌سنج پرتقالی

ضخامت آهن‌ربای مستطیلی (mm)	فاصله کانونی (mm)
۰/۶۵	۱۲۱/۳۶
۱/۳۱	۶۱/۲۵
۱/۹۷	۴۱/۲۶
۲/۶۳	۳۰/۶۵
۳/۲۹	۲۴/۶۹

الف) ب)



شکل۵. رد الکترون‌های عبوری از طیف‌سنج پرتقالی برای دو حالت آهن‌ربای مستطیلی با ضخامت‌های ۱/۳۱mm (الف) و ۲/۶۳mm (ب)



شکل۶. نمودار فاصله کانونی برحسب ضخامت برای دو حالت فیلتر مغناطیسی با آهن‌رباهای گوه‌ای و مستطیلی.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ضمن شبیه‌سازی میدان مغناطیسی حاکم بر طیف‌سنج پرتقالی، پارامترهای مؤثر بر فاصله کانونی طیف‌سنج بررسی شده است. فاصله کانونی برای تعداد، ضخامت و شکل‌های مختلف آهن‌ربا در فیلتر مغناطیسی طیف‌سنج با استفاده از نرم‌افزار CST شبیه‌سازی و مقایسه شده است. با توجه به شکل ۲، هرچه تعداد آهن‌رباها بیشتر باشد، شدت و یکنواختی میدان مغناطیسی بیشتر می‌شود. از شکل‌های ۳، ۴ و ۵ مشخص است که با افزایش تعداد و ضخامت آهن‌رباها، به دلیل قوی‌تر شدن میدان مغناطیسی فاصله کانونی کوچک‌تر می‌شود. در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود که استفاده از آهن‌رباهای مستطیل شکل، فاصله کانونی را کاهش می‌دهد؛ هرچند که با افزایش ضخامت تفاوت با حالت گوه‌ای کاهش می‌یابد. گرچه افزایش تعداد و ضخامت، مزیت افزایش شدت میدان و کاهش فاصله کانونی را به همراه دارد اما باید توجه داشت که میزان پراکندگی الکترون‌ها از دیواره‌ی آهن‌رباها نیز افزایش می‌یابد و تعداد ذرات کمتری به آشکارساز می‌رسند. لذا برای یک طراحی معین، تعیین ضخامت و تعداد آهن‌رباها باید با لحاظ میزان ترابرد الکترون‌های تبدیل داخلی به آشکارساز انجام شود.

طیف‌سنج پرتقالی برای اندازه‌گیری‌های داخل و خارج از راستای باریکه می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد. طراحی‌های انجام‌شده در این تحقیق با هدف استفاده در اندازه‌گیری‌های خارج از راستای باریکه برای ایزوتوپ‌هایی مانند ^{۹۰}Zr، ^{۶۰}Ni، ^{۶۰}Co و ^{۲۴۱}Am انجام شده است.

۵. مراجع

1 J. H. Hamilton, "*Internal Conversion Processes*", Academic Press INC., USA (1965).
2 J. Sorri et.al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 812 (2016) 24.
3 J. V. Klinken and K. Wisshak, Nuclear Instruments and Methods, 98 (1972) 1.
4 L. Guerro et.al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 739 (2014) 32.
5 J. V. Klinken et.al., Nuclear Instruments and Methods, 130 (1975) 427.
6 N. Canzian et.al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 346 (1994) 187.
7 Y. Zheng et.al., Chinese Physics C, 40 (2016) 086002.