



## اندازه گیری ضخامت لایه های میکرونی طلا بر روی نمونه های مسی با استفاده از

### پس پراکندگی اشعه $\beta$

صالح، اشرفی\*؛ شهرام، آریاپور؛ شاهین، احمدی

دانشگاه تبریز، دانشکده ی فیزیک، گروه هسته‌ای

#### چکیده:

در این تحقیق رابطه افزایش ضخامت روکش طلا روی نمونه مسی با میزان پس پراکندگی ذرات بتا به دو روش تجربی و شبیه سازی توسط کد *MCNP* بررسی شده است. برای اینکه دقت اندازه گیری در این روش بیشتر شود، فاصله بهینه چشمه- نمونه و نمونه- آشکارساز و زاویه بین پرتوی تابش و آشکارسازی را با کد شبیه ساز *MCNP* پیدا کرده و برای اطمینان، نتایج بدست آمده را با نتایج تجربی مقایسه نموده ایم. به کمک محاسبات شبیه سازی شده و اندازه-گیری الکترونیهای پس پراکنده شده نحوه تغییرات شدت الکترونیهای پراکنده شده را با ضخامت روکش بدست آورده ایم. ضخامت اشباع و همچنین محدوده ضخامت های قابل اندازه گیری به وسیله این تکنیک نیز تعیین شده است.

کلید واژه: پس پراکندگی بتا، لایه میکرونی، ضخامت سنجی، ضخامت اشباع، آشکارساز *GM*، *MCNP*.

#### مقدمه:

در برخورد با هسته اتمها، الکترون ها و ذرات بتا به دلیل جرم کم به مقدار خیلی زیاد نسبت به زاویه فرودی منحرف و یا پس پراکنده می شوند. از اینرو، احتمال اینکه ذرات بتا در اثر پراکندگی چندگانه از مسیر اولیه برگشته و از ماده خارج شوند زیاد است. پس پراکندگی ذرات بتا به عوامل زیادی بستگی دارد: از جمله، عدد اتمی ماده ( $Z$ )، ضخامت هدف، انرژی ذرات بتا، هندسه آزمایش، انحنا و تمیزی سطح را می توان نام برد. همچنین، مقدار پس پراکندگی ذرات بتا با افزایش عدد اتمی ماده جاذب افزایش می یابد. آزمایشات پراکندگی از عناصر مختلف مانند کربن، آلومینیوم، آهن، ایندینیوم، قلع و تنگستن نشان می دهد که یک رابطه خطی بین آهنگ شمارش الکترونیهای پراکنده شده و لگاریتم ( $Z+1$ ) وجود دارد [۱]. این رابطه به غیر از ترکیبات هیدروژن دار در مورد ترکیباتی از چند عنصر نیز برقرار می باشد. درحالت پراکندگی از نمونه های روکش شده یک عدد اتمی مؤثر ( $Z_{eff}$ ) در بازه ی عدد اتمی روکش و زیرلایه در نظر می گیرند. با افزایش ضخامت جاذب

تا ضخامت معینی (ضخامت اشباع)، پس پراکندگی ذرات بتا افزایش می‌یابد. مقدار ضخامت اشباع به انرژی الکترونها و عدد اتمی جاذب بستگی دارد. براساس محاسبات نظری مقدار ضخامت اشباع باید در حدود نصف برد ذرات بتا باشد در حالیکه از اندازه گیریها مقدار این کمیت فقط  $0.2$  برد ذرات بدست می‌آید [۲]. برای نمونه‌هایی که با یک لایه نازک روکش شده باشند، اگر عدد اتمی روکش کمتر از عدد اتمی زیرلایه باشد، با افزایش ضخامت روکش، به علت کاهش  $Z_{eff}$  مقدار پس پراکندگی کاهش می‌یابد. اگر عدد اتمی روکش بیشتر از عدد اتمی زیرلایه باشد، افزایش ضخامت روکش باعث افزایش تعداد پس پراکندگی می‌شود [۳].

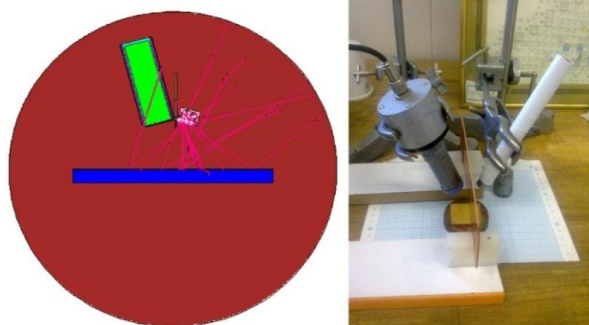
افزایش انرژی الکترونها فرودی باعث کاهش میزان پس پراکندگی می‌شود، بنابراین در مواردی که از این روش برای اندازه‌گیری ضخامت روکش استفاده می‌شود، بهتر است که برای هر محدوده ضخامت از یک چشمه بتا با انرژی متناسب با آن محدوده استفاده شود. برای مثال چشمه های بتا  $^{14}C$  با ماکزیمم انرژی  $156 \text{ keV}$  برای ضخامت‌های پایین و  $^{90}Sr - ^{90}Y$  با دوانرژی ماکزیمم  $2.25 \text{ MeV}$  و  $500 \text{ keV}$  برای ضخامت‌های بالا مناسب‌تر است. یکی دیگر از عوامل مؤثر در میزان پراکندگی ذرات بتا، هندسه آزمایش است. هرچه فاصله چشمه بتا و ماده کم باشد تعداد ذره شمارش شده زیاد می‌شود. زاویه فرود پرتوی بتا نیز در میزان پراکندگی مؤثر است و بررسی مقدار شمارش ذرات بتای پراکنده شده از جاذب‌های مختلف نشان می‌دهد که اگر زاویه فرودی و زاویه آشکارسازی برابر باشد، تعداد ذره شمارش شده بیشترین مقدار خواهد بود [۴].

هدف از این تحقیق امکان سنجی اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های نازک طلا روی زیرلایه‌های مسی با استفاده از پراکندگی اشعه بتا می‌باشد. محدوده ضخامت‌های قابل اندازه‌گیری و ضخامت اشباع در ساختار طلا- مس و شرایط هندسی مطلوب برای اندازه‌گیری ضخامت از جمله نتایج تحقیق می‌باشند.

## روش کار:

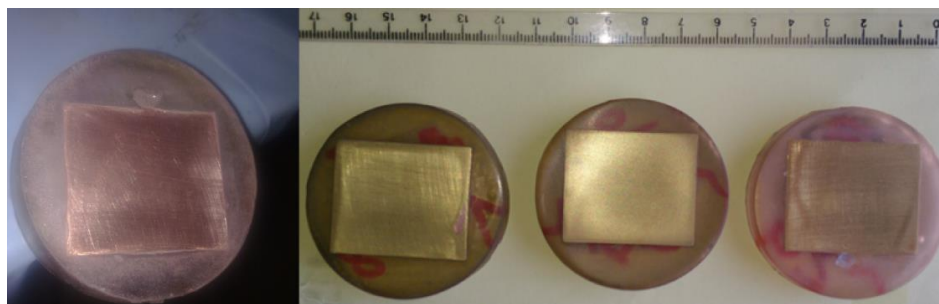
در این تحقیق از یک چشمه بتای  $^{90}Sr$  با اکتیویته  $0.125 \mu\text{Ci}$  و یک آشکارساز GM به قطر  $2 \text{ cm}$  با پنجره میکا برای انجام آزمایش پراکندگی ذرات بتا استفاده نمودیم. برای جلوگیری از ورود مستقیم الکترونها به آشکارساز یک صفحه‌ی مسی با ضخامت  $1 \text{ mm}$  بین چشمه و آشکارساز قرار می‌گیرد. ابتدا، فاصله صفحه‌ی مسی از سطح نمونه، فاصله چشمه و آشکارساز از نمونه و زاویه برخورد الکترونها به سطح نمونه با استفاده از محاسبات کد MCNP بهینه می‌شود. به کمک برنامه Visual هندسه آزمایش و مسیر حرکت ذرات را بصورت سه بعدی مشاهده کردیم. همه اجزای تشکیل دهنده آزمایش را با در نظر گرفتن عدد اتمی و چگالی آنها با

استفاده از سلول‌ها و سطح‌ها در برنامه MCNP تعریف نمودیم. طیف انرژی بتای چشمه به صورت دو توزیع ماکسولی با دو انرژی نقطه‌ای پایانی  $2/25$  MeV و  $0/5$  در نظر گرفته شد. در سمت راست شکل (۱) چیدمان آزمایش و در سمت چپ مدل شبیه‌سازی شده آن نشان داده شده است. برای حصول دقت بیشتر لازم است که تعداد الکترونها پس پراکنده شده که به آشکارساز می‌رسند حداکثر شود. برای این منظور، با انجام شبیه‌سازی مونت کارلو موقعیت نسبی بهینه را برای اجزای آزمایش تعیین نمودیم، سپس صحت کمیت‌های فوق را با انجام آزمایش نیز بررسی کردیم.



شکل ۱: آزمایش انجام شده به صورت تجربی و شبیه سازی با کد MCNP

از پنج نمونه مسی با ضخامت‌های مختلفی از روکش طلا به عنوان پراکنده کننده استفاده شد. اندازه‌ی نمونه‌های مسی  $3 \times 3/5$  cm و ضخامت ۱mm و ضخامت روکش طلای آنها ۸، ۱۶، ۲۴ میکرون بود. علاوه بر آنها یک نمونه مسی بدون روکش و یک سکه طلا نیز تحت تابش اشعه بتا قرار گرفتند. ورقه‌های مسی روکش‌دار به روش الکترولیز لایه‌نشانی شدند. پس از اتصال الکتروود به ورقه‌ها و سوار نمودن آنها در روی مانع پلی استر با اعمال اختلاف ولتاژ بین الکتروود و مایع طلا (ترکیب نمک طلا، اسید نیتریک و اتانول) عمل لایه‌نشانی انجام شد. با استفاده از سمباده‌های مناسب سطوح لایه‌های ایجاد شده را به صورت صاف و یکنواخت در آوردیم. چند نمونه از لایه‌های تهیه شده در شکل (۲) نشان داده شده است.



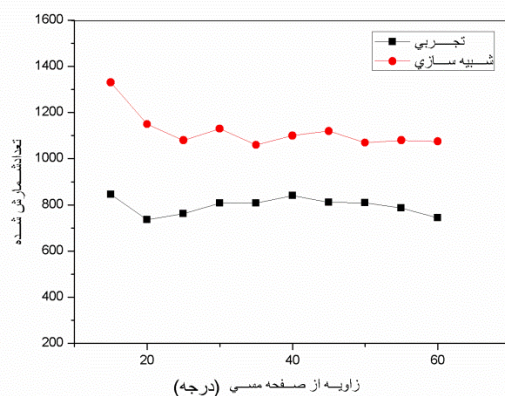
شکل ۲: ورقه‌های روکش شده با ضخامت‌های مختلف و ورقه‌ی بدون روکش مس



پس از انجام آزمایش پراکندگی و اندازه‌گیری الکترونیهای پراکنده شده، کسر الکترونیهای آشکار شده به الکترونیهای گسیل شده از چشمه را تعیین نمودیم. مقدار تجربی این کسر تطابق خوبی با مقدار بدست آمده از شبیه‌سازی دارد.

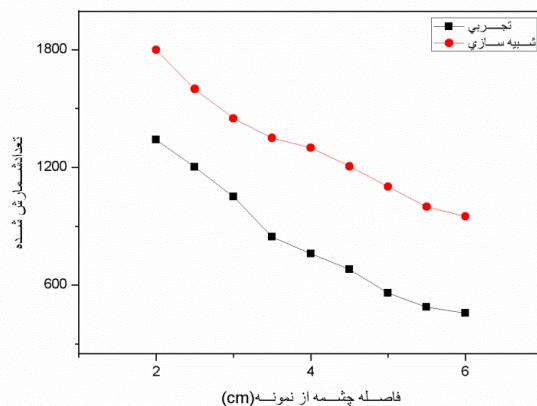
### نتایج:

در آزمایش اول برای تعیین زاویه‌ی مناسب قرارگیری GM و چشمه از صفحه‌ی مسی، از کمترین زاویه ممکن که می‌توان برای هر کدام از آنها انتخاب کرد شروع می‌کنیم که این زاویه ۱۵ درجه می‌باشد. زیرا برای کمتر از این زاویه الکترونها به صفحه برخورد می‌کنند. اندازه‌گیری برای زاویه‌های بیشتر از ۶۰ درجه به دلیل اصابت مستقیم ذرات بتا به پنجره‌ی GM انجام نشد.



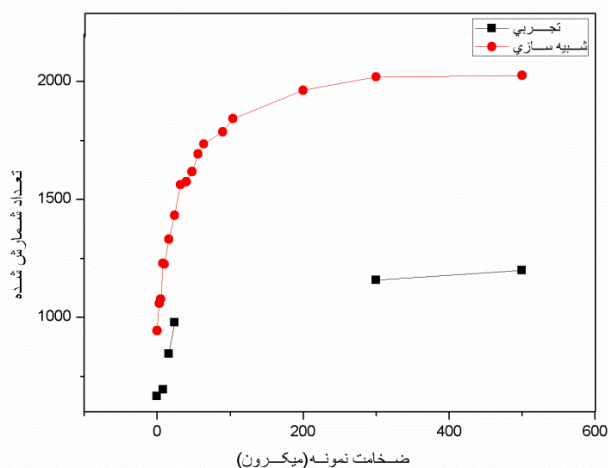
شکل ۳: اندازه‌گیری پس‌پراکندگی برای زاویه‌های مختلف

بعد از تعیین زاویه مناسب از نمودار بالا که برابر با ۱۵ درجه می‌باشد، برای تعیین فاصله مناسب برای GM و چشمه، نمودار زیر را رسم می‌کنیم.



شکل ۴: نمودار تغییر تعداد شمارش برحسب فاصله چشمه از نمونه

همانطور که از نمودار بالا مشخص است به ازای فواصل کمتر چشمه - نمونه تعداد بیشتری از الکترونها پراکنده شده توسط آشکارساز ثبت می‌شوند. ولی برای مقادیر کمتر از  $3/5$  cm، شیب نمودار آنقدر زیاد می‌شود که انجام آزمایش در آن اندازه‌ها عملاً موجب افزایش خطای اندازه‌گیری خواهد شد. بنابراین، با انتخاب زاویه انحراف  $15$  درجه برای محورهای تقارن آشکارساز و چشمه از صفحه‌ی مسی و فاصله‌ی  $3/5$  cm برای هر کدام از آنها از مرکز نمونه، اندازه‌گیری تعداد الکترونها پراکنده شده را انجام دادیم. در شکل (۵) نحوه تغییرات تعداد الکترونها پس پراکنده شده را با ضخامت لایه طلا در روی مس نشان داده‌ایم.



شکل ۵: تغییر تعداد پس پراکنده‌گی با افزایش ضخامت طلای روکش شده



## بحث و نتیجه‌گیری:

مطابق نتایج شکل (۳)، مقدار تجربی و شبیه‌سازی شده تعداد الکترونها پس‌پراکندگی در محدوده انرژی  $E_{\beta, max} \leq 2 \text{ MeV}$  و برای زیر لایه مس و روکش طلا تقریباً از زاویه برخورد الکترونها مستقل می‌باشد. در شکل (۴)، هرچه فاصله‌ی چشمه از نمونه پراکنده‌کننده کمتر شود، مقدار پس‌پراکندگی بیشتر می‌شود. هر چند فواصل کمتر بدلیل پایین بودن خطای آماری شمارشها مطلوب به نظر می‌رسد ولی با توجه به شیب زیاد تغییرات شمارش در این فواصل تنظیم فیزیکی چیدمان آزمایش دشوار بوده و دقت اندازه‌گیری را تقلیل خواهد داد. از اینرو فاصله  $3/5 \text{ cm}$  را به عنوان فاصله بهینه در نظر گرفتیم. در تمام نتایج به دست آمده مقادیر شبیه‌سازی شده نسبت به مقادیر تجربی کمی بالاتر هستند. دلیل این عدم انطباق تعداد ذرات شبیه‌سازی شده ( $10^6$  ذره) و زمان اندازه‌گیری (۱۰ دقیقه) می‌باشد. در شکل (۵) چگونگی افزایش مقدار پس‌پراکندگی برحسب افزایش ضخامت روکش از هر دو نمودار ارایه شده است. برای ضخامت‌های کمتر از  $8 \mu\text{m}$  مقدار بدست آمده تقریباً با مقدار بدست آمده از زیر لایه برابر خواهد بود. همچنین معلوم می‌شود که مقدار ضخامت اشباع برای روکش طلا  $100 \mu\text{m}$  می‌باشد که برای بیشتر از این مقدار افزایش ضخامت تا هر مقدار دلخواهی کمتر از ۱۰٪ تفاوت خواهد کرد و اثر زیر لایه‌ی مسی از بین رفته و پس‌پراکندگی فقط از روکش اتفاق می‌افتد. پس در روش‌هایی که برای اندازه‌گیری روکش طلای نازک روی لایه‌ی ضخیم مس انجام می‌گیرد، محدوده‌ی ضخامت قابل اندازه‌گیری لایه طلا از ۸ تا ۱۰۰ میکرومتر باشد.

## مراجع:

- [۱] Galloway, I. "Beta Backscattering by Metallic Elements and Simple Compounds". Acta Phys. Pol. A ۸۵ Supplement, S-۱۳. ۱۹۹۴.
- [۲] Dolan, K. W. "Beta Backscatter Measurements of Aluminum Ion Plating on U-۰,۷۵ Ti Parts". SAND۸۰-۸۲۴۱ Unlimited Release. October ۱۹۸۰.
- [۳] Kiang, G. C., Lee, L. "Study of the Coating Thickness Measurement by the Method of Filtering Backscattered Beta Particles". Chinese Journal of Physics, VOL, ۷, NO. ۱. APRIL ۱۹۶۹.
- [۴] Ali, E.S.M., Rogers, D.W.O. "Energy spectra and angular distributions of charged particles backscattered from solid targets". J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. ۴۱. ۲۰۰۸.