

نگرشی بر اصول موزبائر و کاربردهای آن

داود قرايلو؛ آزمايشگاه فناوري نانو پارک فناوري پردیس

مقدمه

طیف‌سنجی موزبائر روشی برای استخراج اطلاعات در بخش‌های مختلف علم، مانند فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و متالورژی است. با کمک این روش می‌توان اطلاعاتی پیرامون خواص فیزیکی، شیمیایی، ساختاری، مغناطیسی و همچنین پارامترهای وابسته به زمان در مواد، به‌دست آورد. زیربنای اصلی این روش کشف نشر و جذب پرتو گاما در مواد است که "اثر موزبائر" خوانده می‌شود. اثر موزبائر برای اولین بار به‌وسیله دانشمندی به نام رادولف موزبائر در سال ۱۹۵۷ مشاهده گردید. جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۶۱ به این دانشمند برای کشف این اثر اعطا گردید.

در این مقاله، تئوری کاربرد و تحلیل طیف‌سنجی موزبائر در چهار بخش ارائه می‌گردد. در بخش اول به بررسی اساس این پدیده خواهیم پرداخت و در ادامه اصول طیف‌سنجی موزبائر ارائه خواهد شد. در بخش سوم به تحلیل طیف‌ها و عوامل مهم در این طیف‌سنجی پرداخته می‌شود. بخش چهارم نیز مربوط به معرفی برخی کاربردهای این روش است. در انتها نیز منابع علمی مفید در این باره ارائه خواهد شد.

۱- اثر موزبائر

اطراف هسته اتم‌ها سطوح انرژی متفاوتی وجود دارد که الکترون با ساطع کردن پرتوی گاما می‌تواند در این سطوح به حرکت درآید. عوامل محیطی (مانند عوامل مغناطیس و الکترونیکی) می‌تواند بر این سطوح تأثیر بگذارد به طوری که سطوح انرژی را تغییر داده یا بشکافد. رصد این تغییرات در سطوح انرژی، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی پیرامون محیط اتم‌ها به ما ارائه دهد. دو مسئله اصلی در به‌دست آوردن این اطلاعات وجود دارد:

* **کوچک بودن اثر هسته:** به دلیل کم بودن برهمکنش میان هسته با محیط پیرامون، رصد این اثر کاری دشوار است.

* **اثر بازگشت:** از آنجایی که برای استخراج اطلاعات به وسیله طیف‌سنجی موزبائر نیاز به ایجاد رزونانس است،

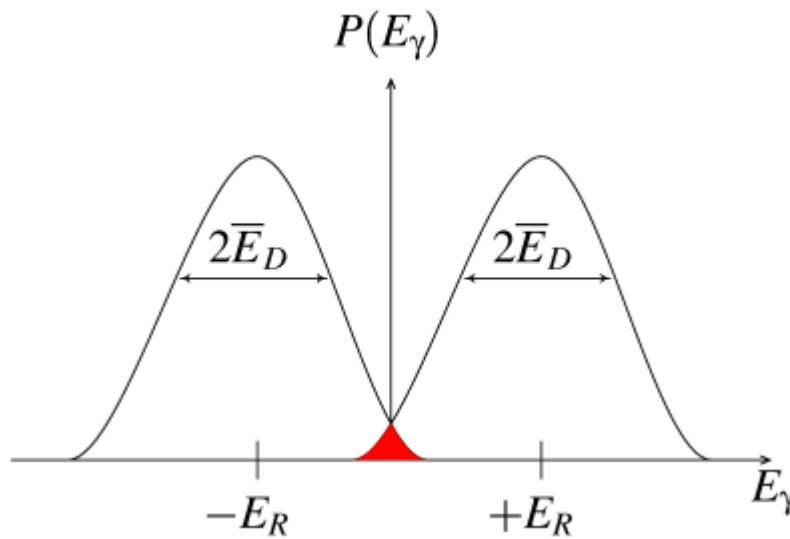
«بازگشت هسته» پدیده‌ای است که مانع ایجاد رزونانس می‌شود.

در هسته‌های آزاد، هنگام جذب یا ساطع کردن پرتو گاما، به دلیل حفظ ممنتوم پدیده بازگشت اتفاق می‌افتد، همانند لگد زدن اسلحه در حین شلیک گلوله، که انرژی این بازگشت را E_R می‌نامند. طرح این پدیده در تصویر (۱) آمده است. پرتو انرژی گامای ساطع شده به میزان E_R ، کمتر از میزان انرژی ساطعی است که الکترون بین آنها حرکت کرده است؛ زیرا این انرژی صرف اثر بازگشت شده است. برای جذب شدن این پرتوها به‌وسیله اتم‌های دیگر، باید مقدار E_R از انرژی بین سطوح در اتم مقصد، بیشتر باشد زیرا بخشی از این انرژی نیز در اتم مقصد صرف پدیده بازگشت می‌شود. بنابراین برای ایجاد رزونانس، باید انرژی از دست رفته طی فرایند بازگشت، جبران شود.



شکل ۱: فرایند بازگشت در اتم‌های آزاد در حین نشر پرتوی گاما در اتم مبدا و جذب آن در اتم مقصد

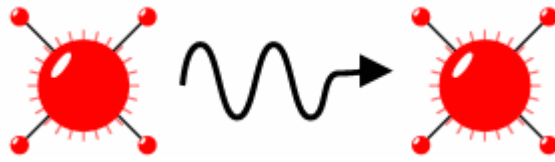
به دلیل جنبش گرمایی، اتم‌ها به صورت تصادفی در حال حرکت هستند، بنابراین، انرژی پرتو گاما، E_D ، به دلیل اثر دوپلر دچار یک گسترده‌گی می‌شود که منحنی آن در تصویر (۲) دیده می‌شود. برای ایجاد یک سیگنال رزونانس، باید انرژی‌ها هم‌پوشانی داشته باشند که این مورد در تصویر (۲) به صورت منطقه قرمز رنگ دیده می‌شود. لازم به ذکر است که برای مشاهده بهتر، این منطقه بزرگنمایی شده‌است. در حالت واقعی، بخش قرمز در نمودار، بسیار کوچک است به طوری که کمتر از یک میلیون‌ام از پرتوهای گاما در این منطقه هستند.



شکل ۲: هم‌پوشانی رزونانس در اتم‌های آزاد که به صورت منطقه قرمز رنگ نشان داده شده‌است.

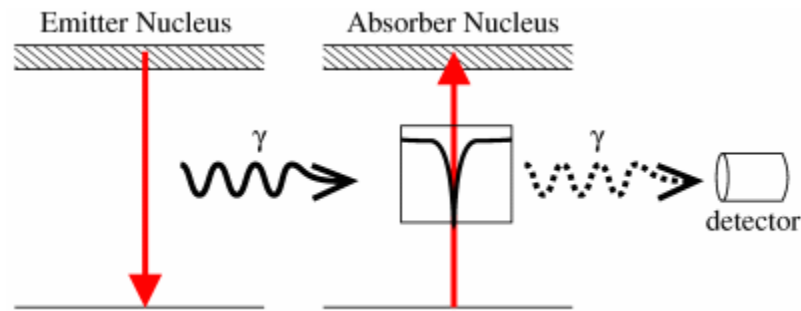
رادولف موزبائر کشف کرد که وقتی اتم‌ها درون ماتریکس جامد قرار می‌گیرند، جرم موثر هسته بسیار بزرگ خواهد شد و در نتیجه برای ایجاد پدیده بازگشت نیاز به انرژی بسیار بالایی خواهد بود. با توجه به این که انرژی پرتو گاما (E_D) بسیار کم است، انرژی بازگشت (E_R) نیز بسیار کم خواهد بود و در نتیجه انرژی بازگشت نمی‌تواند به شکل فوتون اتم را ترک کند. این مسئله باعث می‌شود فرایند ساطع شدن پرتو گاما بدون انجام پدیده بازگشت صورت گیرد و این در واقع به معنی انجام فرایند جذب و نشر پرتو گاما در یک سطح انرژی است: **رزونانس!**

نتیجه این که اگر اتم‌ها در ماتریکس جامد قرار داشته باشند، فرایند جذب و نشر پرتو گاما بدون اتلاف انرژی صورت می‌گیرد و از آنجایی که انرژی جذب و نشر با هم برابر است، پدیده رزونانس اتفاق می‌افتد. شکل (۳) طرحی از این فرایند را نشان می‌دهد.



شکل ۳: جذب و نشر پرتو گاما در حالتی که اتم‌ها در ماتریکس جامد قرار دارند

اگر هسته اتم‌های نشرکننده و جذب کننده در یک محیط مکعبی شبیه هم باشند، انرژی انتقال نیز یکسان است و طیفی مانند شکل (۴) ایجاد می‌شود.



شکل ۴: طیف ساده موزبائر از منبع جذب کننده و نشر کننده یکسان

حال که ما به نشر و جذب رزونانس دست پیدا کردیم آیا می‌توانیم آن را برای بررسی برهمکنش‌های بسیار کوچک میان هسته و محیط پیرامون آن به کار ببریم؟ با حذف پدیده بازگشت و اثر دوپلر، در حال حاضر بزرگنمایی ما محدود به پهنای طبیعی سطوح انرژی است که این هم به میانگین زمان ایست الکترون در حالت برانگیخته، پیش از فرو ریختن به تراز پایین‌تر و نشر پرتو گاما، مرتبط است. برای عمومی‌ترین ایزوتوپ مورد استفاده در طیف‌سنجی موزبائر، ^{57}Fe ، این پهنای برابر $5 \times 10^{-9} \text{eV}$ است که در مقایسه با انرژی پرتو گاما در این طیف‌سنجی، 14.4 KeV ، بزرگنمایی ۱ در 10^{12} است. این بزرگنمایی به مانند دیدن یک دانه غبار روی پوست یک فیل بزرگ یا یک برگ کاغذ در فاصله میان زمین تا خورشید است. با توجه به این بزرگنمایی می‌توان گفت که اثر موزبائر برای مشاهده برهمکنش بسیار کوچک میان اتم و محیط پیرامونش مناسب است.

همان‌طور که در بالا اشاره شد، رزونانس زمانی رخ می‌دهد که انرژی نشر و جذب دقیقاً با هم برابر باشند و این فقط در برخی ایزوتوپ‌های ویژه انجام می‌شود. بزرگنمایی نیز به زمان ایست الکترون در حالت برانگیختگی بستگی دارد. این دو عامل، تعداد ایزوتوپ‌های مورد استفاده در طیف‌سنجی موزبائر را محدود می‌کند. پر استفاده‌ترین ایزوتوپ در این طیف‌سنجی ^{57}Fe است که هم انرژی پرتو گامای آن پایین است و هم طول مدت ایست الکترون در حالت برانگیخته در آن بالا است. شکل (۵) ایزوتوپ‌های مورد استفاده در طیف‌سنجی موزبائر را نشان می‌دهد. عناصری که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند، عناصری هستند که در طیف‌سنجی موزبائر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در میان این عناصر، مواردی که بیشتر استفاده می‌شوند، با زمینه مشکی نمایش داده شده‌اند.

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac																
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

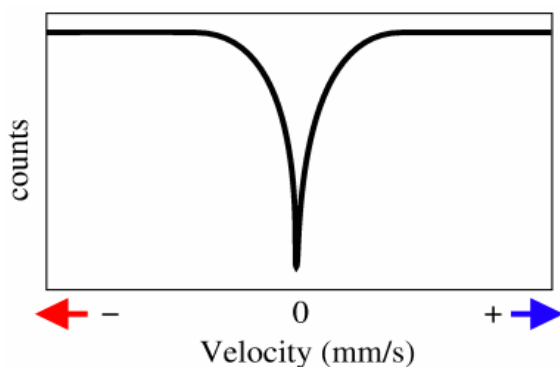
شکل ۵: عناصر جدول تناوبی که در طیف سنجی موزبائر به کار می‌روند (رنگ قرمز). آنهایی که بیشتر استفاده می‌شوند با زمینه مشکی نشان داده شده‌اند.

حال با دانستن اثر موزبائر و داشتن ایزوتوپ مناسب چگونه می‌توان یک ماده را مورد ارزیابی قرار داد؟

۲- اصول طیف‌سنجی موزبائر

طیفی که در بخش قبل به عنوان مثال آورده شد، یک طیف ساده از نشر و جذب پرتو در محیط‌های مشابه است که با محیط‌هایی که ما در واقعیت با آن روبرو هستیم تفاوت دارد. در حالت واقعی، محیط‌هایی که اتم‌های مورد آزمایش در آن قرار دارند، با منبع موزبائر تفاوت دارد، بنابراین برهمکنش میان محیط اطراف اتم باعث می‌شود تغییراتی در طیف دیده شود که برای مشاهده این تغییرات باید انرژی پرتو گاما تغییر کند. در این بخش سه روش اصلی برای تغییر سطوح انرژی و اثرات آن ارائه می‌شود.

همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، در طیف‌سنجی موزبائر باید تغییرات بسیار کوچک انرژی که در حد یک میلیاردیوم الکترون ولت است مورد شناسایی قرار گیرد. رصد چنین تغییرات اندک، تنها با بهره‌گیری از اثر دوپلر امکان‌پذیر است. همان‌طور که صدای آمبولانس در هنگام نزدیک شدن به شما افزایش و در هنگام دور شدن کاهش می‌یابد، منبع پرتو گاما نیز می‌تواند از ماده مورد آزمایش دور یا به آن نزدیک گردد. برای این کار، منبع رادیواکتیو با سرعتی در حد چند میلی‌متر در ثانیه در نزدیکی ماده مورد آزمایش نوسان می‌کند. حرکت منبع در حد چند میلی‌متر در ثانیه، برای مشاهده برهمکنش بسیار ضعیف محیط با هسته کافی است. در نتیجه این حرکت، مقیاس طیف‌سنجی موزبائر بر حسب سرعت حرکت منبع ذکر می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶: طیف ساده موزبائر که مقیاس سرعت و حرکت منبع را نسبت به ماده مورد آزمایش نشان می‌دهد

با نوسان منبع (حرکت به سوی ماده مورد آزمایش)، می‌توان انرژی گاما را به آرامی افزایش داد تا جایی که انرژی پرتو گاما دقیقاً با انرژی جذب ماده مورد آزمایش برابر شود. در این شرایط رزونانس اتفاق افتاده و پیک مشاهده می‌شود. برای مشاهده این پیک باید ماده مورد آزمایش به اندازه کافی نازک باشد تا پرتوهای گاما به راحتی از آن عبور کنند. در شکل (۶)، رزونانس در سرعت صفر میلی متر بر ثانیه اتفاق می‌افتد و این یعنی منبع و ماده مورد آزمایش یکسان هستند. محیط اطراف ماده مورد آزمایش نیز از سه طریق می‌تواند روی سطح انرژی ماده مورد آزمایش تاثیر بگذارد:

۲-۱- شیفت ایزومری

منبع شیفت ایزومری، حجم غیر صفر هسته و دانسیته بار الکترون به دلیل وجود الکترون‌های اربیتال S درون آنها است. این مسئله موجب برهمکنش تک قطبی (کلمبی) می‌شود که در نهایت سطح انرژی هسته را تغییر می‌دهد. بنابراین هر تفاوتی بین محیط الکترون‌های اربیتال S در منبع و ماده مورد آزمایش، موجب یک شیفت در انرژی خواهد شد. مثبت یا منفی بودن این شیفت بستگی به دانسیته الکترون‌های اربیتال S دارد.

از آنجایی که این شیفت به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست، مقادیر آن را به صورت نسبی بیان می‌کنند. برای مثال، در طیف ^{57}Fe ، اغلب از جمله «نسبت به آهن آلفا در دمای اتاق» استفاده می‌شود. شیفت ایزومر برای تعیین ظرفیت، حالت پیوندهای لیگاند، سپر الکترونی و مقدار الکترونگاتیویته مواد استفاده می‌شود.

۲-۲- شکافتگی چهارقطبی

هسته، در حالتی که عدد کوانتومی ممنتوم زاویه‌ای^۱ یا I بزرگتر از ۰/۵ داشته باشد، توزیع بار در آن غیرکروی خواهد بود که این موجب پدید آمدن ممنتوم چهارقطبی می‌شود. در حضور یک میدان الکتریکی نامتقارن که به وسیله توزیع بار الکتریکی به طور غیریکنواخت ایجاد می‌گردد، سطوح انرژی هسته‌ای شکافته می‌شود. توزیع بار نیز به کمک یک گرادیان میدان الکتریکی^۲ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در حالتی که ایزوتوپ I=1.5 داشته باشد، مانند ^{57}Fe یا ^{119}Sn ، حالت برانگیخته به دو

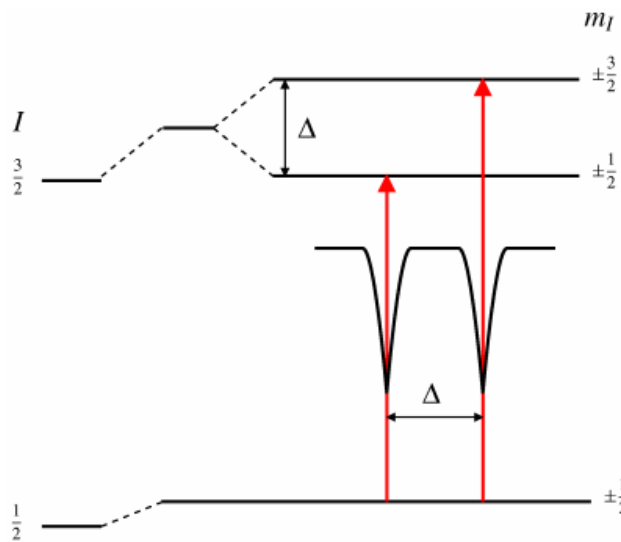
$$\text{سطح انرژی شکافته می‌شود } mI = \pm \frac{1}{2} \text{ و } mI = \pm \frac{3}{2} .$$

خطوط این طیف که «دوتایی» خوانده می‌شود، در شکل (۷) آمده است. مقدار شکاف، دلتا، به ممنتوم چهارقطبی هسته، Q، بستگی دارد. رابطه ذیل این وابستگی را نشان می‌دهد:

$$\Delta = eQV_{zz}/2$$

¹ An angular momentum quantum number

² The Electric Field Gradient (EFG)



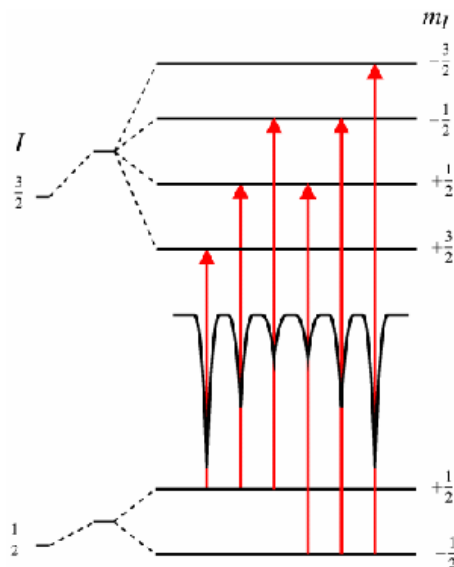
شکل ۷: شکافتگی چهار قطبی برای حالت‌های $1/5$ و $3/5$ مقدار شکافتگی با علامت دلتا نشان داده شده است

۲-۳- شکافت مغناطیسی

در حضور میدان مغناطیسی، ممنتوم اسپین هسته برهمکنشی با میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند که به شکافت زیمان موسوم است. از آنجایی که منابع میدان مغناطیسی روی هسته متنوع هستند، میدان مغناطیسی موثر، B_{eff} ، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$B_{\text{eff}} = (B_{\text{contact}} + B_{\text{orbital}} + B_{\text{dipolar}}) + B_{\text{applied}}$$

که B_{contact} مربوط به اسپین الکترون‌هایی است که دانسیته اسپین‌ها را در هسته پلاریزه می‌کند، B_{orbital} مربوط به ممنتوم اوربیتالی این الکترون‌ها و B_{dipolar} میدان دو قطبی حاصل از اسپین الکترون‌ها است. میدان مغناطیسی سطوح انرژی در هسته به $(2I+1)$ سطح می‌شکافتد که در شکل (۸) برای ^{57}Fe آمده است.



شکل ۸: شکافت مغناطیسی در سطوح انرژی

انتقال الکترون از حالت پایه به حالت برانگیخت تنها زمانی اتفاق می‌افتد که m_l بین صفر تا یک تغییر کند. برای انتقال از حالت $\frac{3}{2}$ به $\frac{1}{2}$ ، شش حالت محتمل وجود دارد که این شش گانه‌ها نیز در شکل (۸) آمده است. لازم به ذکر است که فاصله خطوط در این شکل با B_{eff} متناسب است. موقعیت خطوط در این طیف نیز متناسب با سطوح انرژی است، اما شدت آنها به زاویه بین پرتو گاما موزبائر و ممنتوم اسپین هسته وابسته است. شدت خطوط خارجی، میانی و داخلی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$3 : (4\sin^2\theta)/(1+\cos^2\theta) : 1$$

این رابطه نشان می‌دهد شدت خطوط داخلی و خارجی همیشه از یک نسبت پیروی می‌کنند اما شدت خطوط میانه بین عدد صفر و چهار متغیر است و به زاویه میان ممنتوم اسپین هسته و پرتو گاما بستگی دارد. در نمونه‌های چندبلوری در غیاب میدان، میانگین شدت در خطوط میانی ۲ است اما در تک بلوری‌ها یا زمانی که میدان مغناطیسی بر مواد چند بلوری اعمال می‌شود، می‌توان از روی شدت خطوط، اطلاعات ارزشمندی پیرامون جهت‌گیری بلور و خواص مغناطیسی آن به دست آورد.

شیفت ایزومری، شکافتگی چهارقطبی، شکافتگی مغناطیسی یا ترکیبی از آنها را می‌توان به عنوان ابزاری برای توصیف مشخصات مواد در طیف‌سنجی موزبائر استفاده کرد.

۳- تحلیل طیف‌ها

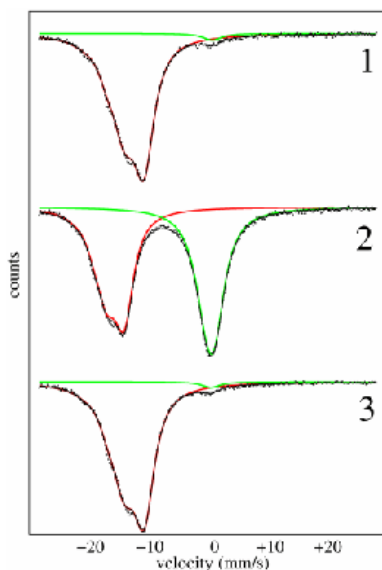
در این بخش به شما نشان خواهیم داد که چگونه طیف‌های به دست آمده را تحلیل کنید و از آن برای مطالعه پدیده‌ها و سیستم‌های مختلف استفاده نمایید. این طیف‌ها از پروژه‌های تحقیقاتی مختلف استخراج و در این بخش به شما ارائه می‌شوند.

۳-۱- اکسید قلع حاوی آنتیموان

اکسید قلع حاوی آنتیموان یکی از کاتالیست‌های مهم در اکسیداسیون انتخابی اولفین‌ها است. یکی از دغدغه‌های محققان در استفاده از این ماده یافتن غلظت نسبی آنتیموان در حالت‌های اکسیداسیون مختلف (+۳ و +۵) طی فرایند کاتالیستی است. شکل (۹) سه طیف مختلف از ^{121}Sb را در زمان‌های مختلف فرایند کاتالیستی نشان می‌دهد: ۱- Sb_2O_3 دست نخورده، ۲- Sb_2O_3 بعد از حرارت دادن در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۳- Sb_2O_3 حرارت داده شده پس از فرایند کاتالیستی. بخش اول شکل (۹) نشان می‌دهد همه اتم‌های آنتیموان در یک سطح انرژی قرار دارند (خطوط قرمز). بر اساس آزمایش‌های قبلی می‌دانیم که این شیفت خطوط در طیف مربوط به Sb^{3+} است. شکل نامتقارن آن نیز مربوط به شکافت چهارقطبی در این ایزوتوپ است که به هشت خط تفکیک شده است (از $\frac{7}{2}$ به $\frac{5}{2}$).

پس از عملیات حرارتی، طیف به دو بخش با مساحت‌های یکسان تبدیل شده است که دومی (رنگ سبز) مربوط به یون‌های Sb^{5+} است. مساحت زیر نمودار نشان می‌دهد که نسبت دو ماده (Sb_2O_4 و Sb_6O_{13}) یک به یک است. پس از انجام فرایند کاتالیستی (بخش سوم شکل ۹) نمودار مربوط به Sb^{5+} حذف می‌شود که نشان می‌دهد همه یون‌ها در کاتالیست به صورت Sb^{3+} هستند.

در نمونه‌هایی مشابه این طیف، بررسی تصاویر بدون نیاز به کامپیوتر و تنها با چشم قابل انجام است. اما متأسفانه همیشه نتایج به این سادگی قابل استخراج نیستند.

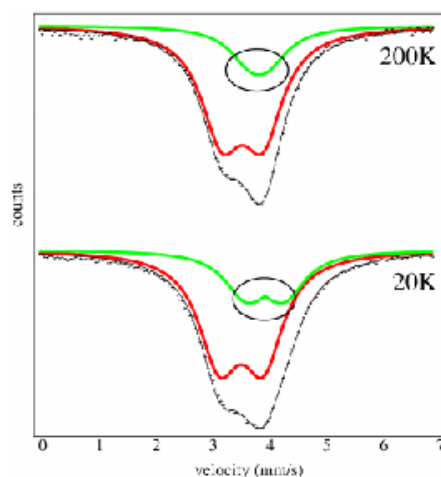


شکل ۹: سه طیف مختلف از ^{121}Sb در زمان‌های مختلف فرآیند کاتالپستی

۳-۲- اتم‌های قلع «جابجایی» در PbSnTeSe

اگر یک اتم بنا به دلایلی محل اصلی خود را در شبکه بلور ترک کند و از آن فاصله گیرد، به این وضعیت ناخالصی خارج از میان گفته می‌شود. منشاء این پدیده می‌تواند تغییرات حرارتی باشد. متأسفانه پدیده‌های مختلفی وجود دارند که پدیده «خارج از میان» را پوشش می‌دهند و مشاهده آن را غیرممکن می‌سازند.

طیف‌سنجی موزبائر، ابزار مناسبی برای مشاهده این پدیده است. از آنجایی که جابجایی اتم درون شبکه موجب از بین رفتن تقارن در میدان الکتریکی که ماده درون آن قرار دارد می‌شود، بنابراین شکافت چهارقطبی در طیف‌ها پدید می‌آید. خوشبختانه هیچ پدیده‌ای نمی‌تواند این شکافت را بپوشاند. برای نمونه طیف ترکیب $\text{Pb}_{0.8}\text{Sn}_{0.2}\text{Te}_{0.8}\text{Se}_{0.2}$ در شکل (۱۰) آمده است که در آن اتم قلع از محل خود خارج شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در دمای ۲۰۰ کلوین تنها یک پیک دیده می‌شود اما با کاهش دما به ۲۰ درجه کلوین شکافی در طیف ایجاد شده و آن را به دو پیک تبدیل کرده است.



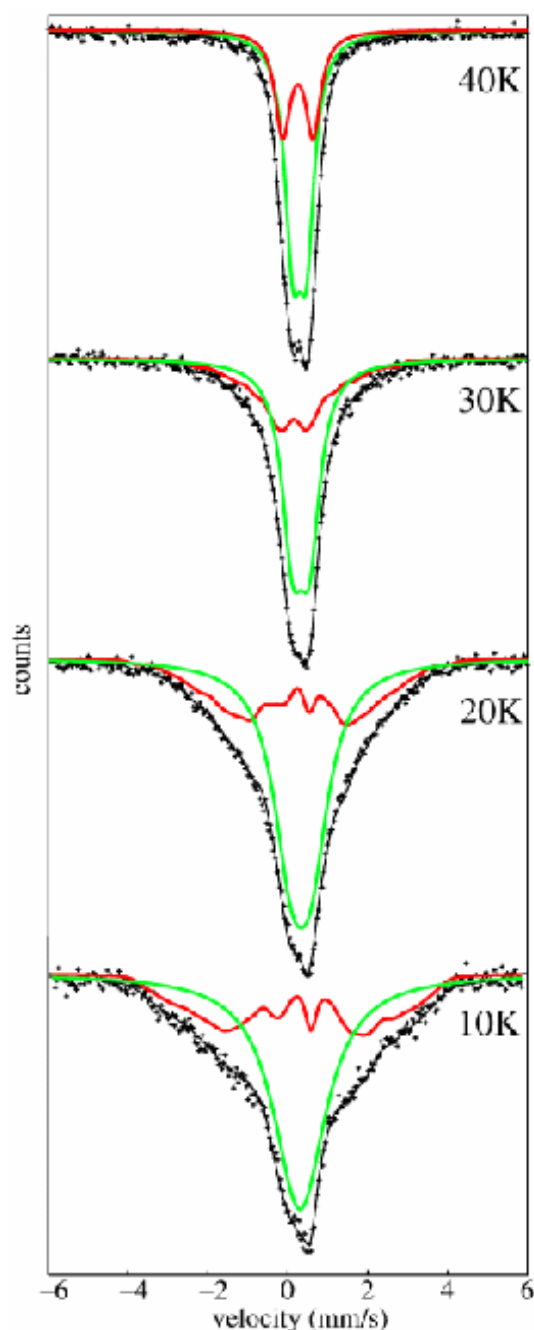
شکل ۱۰: طیف موزبائر حاوی شکافت چهارقطبی در اثر خروج اتم قلع از موقعیت اصلی خود در شبکه.

۳-۳- حالت گذار شیشه‌ای در $\text{Al}_{49}\text{Fe}_{30}\text{Cu}_{21}$

خواص مغناطیسی آلیاژهای گرانبوی و نانو ساختارهای ناهمگن که به وسیله مواد فرومغناطیس و غیرمغناطیس ساخته می‌شوند، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. این مواد، هم در مطالعات بنیادی و هم ساخت دستگاه‌هایی نظیر ذخیره‌سازی داده‌ها استفاده می‌شوند. در این میان، شیشه‌های سوپر اسپین در کانون توجه محققان قرار گرفته است اما از آنجایی که فازهای ذرات درون این ماده بسیار متنوع هستند، مطالعه روی آنها با دشواری‌هایی همراه بوده است.

همان‌طوری که در مثال‌های پیشین قید شد، طیف‌سنجی موزبائر ابزار مناسبی برای تشخیص سایت‌ها و فازهای ذرات درون نمونه است و با آن می‌توان تفاوت میان سایت‌های پارامغناطیس و مغناطیس را مشاهده کرد.

زمانیکه فاز شیشه سوپر اسپین به نقطه انجماد خود می‌رسد، اتم‌ها چیدمان مغناطیسی به خود می‌گیرند و در طیف، یک پیک شش‌تایی دیده می‌شود. شکل (۱۱)، طیف ^{57}Fe را برای $\text{Al}_{49}\text{Fe}_{30}\text{Cu}_{21}$ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ۴۰ درجه کلوین (دمای بالای نقطه انجماد)، دو نمودار با نسبت‌های غیر یکسان دیده می‌شود که هر دو، دوتایی هستند. با کاهش دما، نمودار کوچک‌تر (قرمز رنگ) شروع به باز شدن می‌کند و تبدیل به نمودار شش‌تایی می‌شود. پیک‌های ایجاد شده به دلیل توزیع اندازه ذرات درون نمونه پهن می‌شوند. از روی این نمودارها که در دماهای متفاوت گرفته شده است می‌توان دمای تغییر فاز شیشه سوپر اسپین را به دست آورد.



شکل ۱۱: طیف‌های مربوط به تغییر فاز در شیشه سوپر اسپین $Al_{49}Fe_{30}Cu_{21}$

۴- کاربرد

طیف‌سنجی موزبائر کاربردهای متنوعی در علوم مختلف دارد. تا کنون در بسیاری از زمینه‌ها از جمله فناوری نانو، نانویست‌فناوری، باستان‌شناسی، زمین‌شناسی و مهندسی مواد از این طیف‌سنجی استفاده شده‌است. در ذیل به بخشی از توانمندی‌های این روش اشاره می‌شود.

نانویست فناوری: از آنجایی که بسیاری از پروتئین‌ها در ساختار خود اتم‌های آهن دارند، می‌توان از طیف‌سنجی موزبائر برای بررسی آنها استفاده کرد. برای سال‌ها متغیرهای دینامیک طیف‌سنجی موزبائر مانند Lamb-Mössbauer factor و the second-order Doppler shift کاربردی نداشته و توجهی به آنها نمی‌شد. تا این که دو دانشمند به نام‌های Gonser

Grant از این متغیرها برای بررسی پروتئین‌ها استفاده کردند. بعدها مشخص شد که اطلاعات به دست آمده از این طیف‌سنجی، می‌تواند مکمل اطلاعات به دست آمده از مطالعات اشعه ایکس در بررسی بلوری پروتئین‌ها باشد. از سال ۱۹۷۹ به بعد، در بسیاری از کنفرانس‌های علمی و مقالات پژوهشی مربوط به زیست مولکول‌ها، مقالات مربوط به این طیف‌سنجی دیده می‌شود. برای مثال PARAK با استفاده از این روش به بررسی اندازه پروتئین‌های میوگلوبین پرداخت و در نهایت اندازه آنها را بین ۶ تا ۳۰ انگستروم تعیین کرد.

کاتالیست‌ها: با توجه به قدرت نفوذ بالای پرتوهای گاما و حساسیت طیف‌سنجی موزبائر، این روش به ابزاری مناسب برای بررسی کاتالیست‌ها به صورت درجا^۴ تبدیل شده است. یکی از مزیت‌های این روش آن است که می‌توان هر دو مدل رایج در مطالعات کاتالیستی (بررسی در شرایط خلاء بالا برای مطالعه سطح و بررسی در شرایط محیطی)، را با آن انجام داد. به همین دلیل پتانسیل این روش در مطالعات کاتالیستی بسیار بالا است و به سرعت در حال رشد است. برای مطالعه درجا با شرایط مختلف، یک سری سل‌ها و راکتورهای مخصوص ساخته شده است. برای مطالعه در شرایط کنترل شده نیز، محفظه‌های مخصوصی به منظور تامین شرایط مورد نظر طراحی شده است.

فناوری نانو: بررسی و شناسایی ویژگی‌های نانومواد یکی از چالش‌های این فناوری است. هر چند ابزارهای مختلفی برای این کار معرفی شده‌اند اما هریک محدودیت‌های خاص خود را دارا هستند. برخی از کاربردهای طیف‌سنجی موزبائر در فناوری نانو عبارتند از: توصیف مشخصات محل‌های اتمی محلی^۵ در نانو ساختارها، توزیع اندازه ذرات، تعیین فاز نانومواد. دکتر RAWERS و همکارانش این پارامترها را با کمک طیف‌سنجی موزبائر برای آلایز آهن-آلومینیوم تعیین کردند. دکتر DESMOND C. COOK نیز از این طیف‌سنجی برای مطالعه نانوفازهای آهن استفاده کرده است. از آنجایی که نانوفازهای آهن در برابر بسیاری از روش‌های طیف‌سنجی شفاف بوده، امکان بررسی آن بسیار دشوار است ایشان از طیف‌سنجی موزبائر برای مطالعه این ماده استفاده کرده است.

خوردگی: طیف‌سنجی موزبائر به یک ابزار بسیار حیاتی در برنامه‌های مطالعات خوردگی در آمریکا تبدیل شده است. همچنین از آن برای تعیین وضعیت خوردگی پل‌های بزرگ فولادی استفاده می‌شود. از این روش برای بررسی و توصیف مشخصات محصولات خوردگی که روی قطعات فولادی تشکیل شده نیز استفاده می‌شود.

باستان‌شناسی: طیف‌سنجی موزبائر برای اولین بار به وسیله Cousins و Dharmawardena در باستان‌شناسی مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که رس‌های به کار رفته در کوزه‌ها و ادوات سفالی ساخته شده در کوره‌ها در اثر حرارت دیدن دچار تغییراتی می‌شوند، این تغییرات پس از سال‌ها دفن شدن در زیر خاک قابل شناسایی به وسیله این طیف‌سنجی است. می‌توان از این روش برای بدست آوردن اطلاعاتی پیرامون چگونگی ساخته شدن آنها نیز به دست آورد. یکی از این اطلاعات مربوط به نوع گرم کردن و پختن سفال است که برای باستان شناسان بسیار مهم است. آنها با این نوع اطلاعات به فرهنگ مردمان در اعصار قبل پی می‌برند.

⁴ in-situ

⁵ local atomic site characterization

۵- کتاب‌های مفید درباره طیف‌سنجی موزبائر

در بخش‌های پیشین به بررسی اصول طیف‌سنجی موزبائر و کاربردهای آن پرداختیم. اما هنوز مطالب بسیاری در این‌باره وجود دارد که می‌تواند راه‌گشای محققان در این حوزه باشد. در این بخش به معرفی چند کتاب مفید درباره طیف‌سنجی موزبائر خواهیم پرداخت:

- Mössbauer Spectroscopy and its Applications, T E Cranshaw, B W Dale, G O Longworth and C E Johnson, (Cambridge Univ. Press: Cambridge) 1985;
- Mössbauer Spectroscopy, D P E Dickson and F J Berry, (Cambridge Univ. Press: Cambridge) 1986;
- The Mössbauer Effect, H Frauenfelder, (Benjamin: New York) 1962;
- Principles of Mössbauer Spectroscopy, T C Gibb, (Chapman and Hall: London) 1977;
- Mössbauer Spectroscopy, N N Greenwood and T C Gibb, (Chapman and Hall: London) 1971;
- Chemical Applications of Mössbauer Spectroscopy, V I Goldanskii and R H Herber ed., (Academic Press Inc: London) 1968;
- Mössbauer Spectroscopy Applied to Inorganic Chemistry Vols. 1-3, G J Long, ed., (Plenum: New York) 1984-1989;
- Mössbauer Spectroscopy Applied to Magnetism and Materials Science Vol. 1, G J Long and F Grandjean, eds., (Plenum: New York) 1993.

۶- منابع

- 1- APPLICATION OF MOSSBAUER SPECTROSCOPY TO THE STUDIE OF ACTIVATION OF CATALYSTS, *Hyperfine Interactions* 40 (1988) 211-222.
- 2- Application of Mössbauer Spectroscopy to the Study of Corrosion, *Hyperfine Interactions* 153: 61-82, 2004.
- 3- Mössbauer Spectroscopy in Archaeology: Introduction and Experimental Considerations, *Hyperfine Interactions* 154: 5-33, 2004.
- 4- In situ Mossbauer spectroscopy in catalysis, *Topics in Catalysis* 8 (1999) 133-140.
- 5- PROTEIN STRUCTURAL DYNAMICS AS DETERMINED BY MOSSBAUER SPECTROSCOPY, *Hyperfine Interactions* 40 (1988) 147-158.
- 6- Clays and clay minerals: What can Mössbauer spectroscopy do to help understand them?, *Hyperfine Interactions* 117 (1998) 39-70.
- 7- <http://www.rsc.org/Membership/Networking/InterestGroups/MossbauerSpect/part4.asp>.
- 8- Mössbauer spectroscopy of small gold particles, *Phys. Rev. B* 15, 72-83.