

بررسی نابودی اورتوپوزیترونیم در ماده متخلخل در حضور گاز ازت با فشارهای مختلف

خمر، بهنوش* (۱) - مهران دوست خواجه داد، علی اکبر (۲) - خاقانی، مرتضی (۳)

دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

طیف‌سنجی طول عمر نابودی پوزیترون ابزاری قدرتمند برای تعیین نوع و غلظت عیوب در ساختار مواد متخلخل به‌ویژه در حضور گازها است. در این پژوهش، مؤلفه‌های نابودی پوزیترون در نمونه‌های متخلخل آجری و سرامیکی، در حضور هوا و گاز ازت با فشارهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین سهم نابودی در نمونه‌ها، مربوط به نابودی پوزیترون آزاد در حجم است. همچنین ملاحظه می‌شود که با حضور گاز ازت، سهم مربوط به نابودی اورتوپوزیترونیم موسوم به مؤلفه طولانی طول عمر پوزیترون، کاهش می‌یابد. کلمات کلیدی: طیف‌سنجی طول عمر نابودی پوزیترون، نابودی اورتوپوزیترونیم، گاز ازت، مواد متخلخل.

مقدمه:

مواد متخلخل به دلیل داشتن ویژگی‌های خاص و منحصر به فرد از جمله چگالی کم، مقاومت گرمایی بالا، پایداری شیمیایی و خواص جذبی مناسب، کاربردهای فراوانی در صنعت دارند [۱ و ۲]. از این رو شناسایی این مواد و فرآیندهایی که میزان تخلخل آن‌ها را تغییر می‌دهد بسیار حائز اهمیت است. یکی از روش‌هایی که در مطالعات مربوط به تخلخل سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرد، طیف‌سنجی طول عمر نابودی پوزیترون است [۳]. این روش علاوه بر داشتن پتانسیل بالا در تعیین نوع و غلظت نقص در ماده و تعیین حفره‌های بسته، می‌تواند در شرایطی همچون دماهای مختلف، نمونه‌های تحت فشار مکانیکی و یا حفره‌های پر شده با گاز مورد استفاده قرار گیرد [۱]. به لحاظ آزمایشگاهی، طول عمر پوزیترون با ثبت فاصله زمانی بین گامای ۱/۲۷ مگا الکترون‌ولتی که همزمان با تولید پوزیترون در چشمه ^{22}Na تابش می‌شود و یکی از گاماهای حاصل از نابودی پوزیترون در نمونه ثبت و اندازه‌گیری می‌شود. پوزیترون پراثری پس از وارد شدن به نمونه، طی برخوردهای کشسان انرژی جنبشی خود را از دست داده و حرارتی می‌شود. اگر در شبکه نمونه، جای خالی یا نقص وجود داشته باشد پوزیترون‌ها به این مناطق که چگالی الکترونی کمتر دارند وارد می‌شوند و در نتیجه طول عمر پوزیترون افزایش می‌یابد. به‌طور کلی نابودی پوزیترون به دو روش امکان‌پذیر است: نابودی پوزیترون آزاد و نابودی پس از تشکیل پوزیترونیم. پوزیترونیم حالتی مقید و نسبتاً پایدار از یک پوزیترون و یک الکترون است که با توجه به جهت‌گیری اسپینی ذرات سازنده‌اش در دو فاز تشکیل شود. حالت تک

تایه مربوط به اسپین‌های پادموازی، پاراپوزیترونیم ($p\text{-Ps}$) و حالت سه تایه مربوط به اسپین‌های موازی، اورتوپوزیترونیم ($o\text{-Ps}$) نامیده می‌شود. حالت پارا بسیار ناپایدار است و در خلأ تنها پس از ۱۲۵ پیکو ثانیه به دو گاما واپاشی می‌کند. این در حالی است که حالت اورتو به مراتب پایدارتر است و در شرایط مشابه پس از ۱۴۲ نانوثانیه و عمدتاً با تابش سه گاما نابود می‌شود. طول عمر طولانی‌تر اورتوپوزیترونیم، آن را به مؤلفه‌ی مناسب‌تری برای تفسیر بعضی مشخصه‌های فیزیکی نمونه از جمله اندازه و چگالی تخلخل در آن تبدیل کرده است [۱ و ۴].

در برخی محیط‌های گازی، اورتوپوزیترونیم با مولکول‌های گاز فرونشانی می‌کند و طول عمر مؤلفه‌ی طولانی‌تر در طیف طول عمر، کاهش می‌یابد. عمده فرآیندی که سبب فرونشانی اورتوپوزیترونیم می‌شود، فرونشانی برجینی است. این فرآیند نابودی سه گامایی اورتوپوزیترونیم را به دو گاما محدود می‌کند [۴].

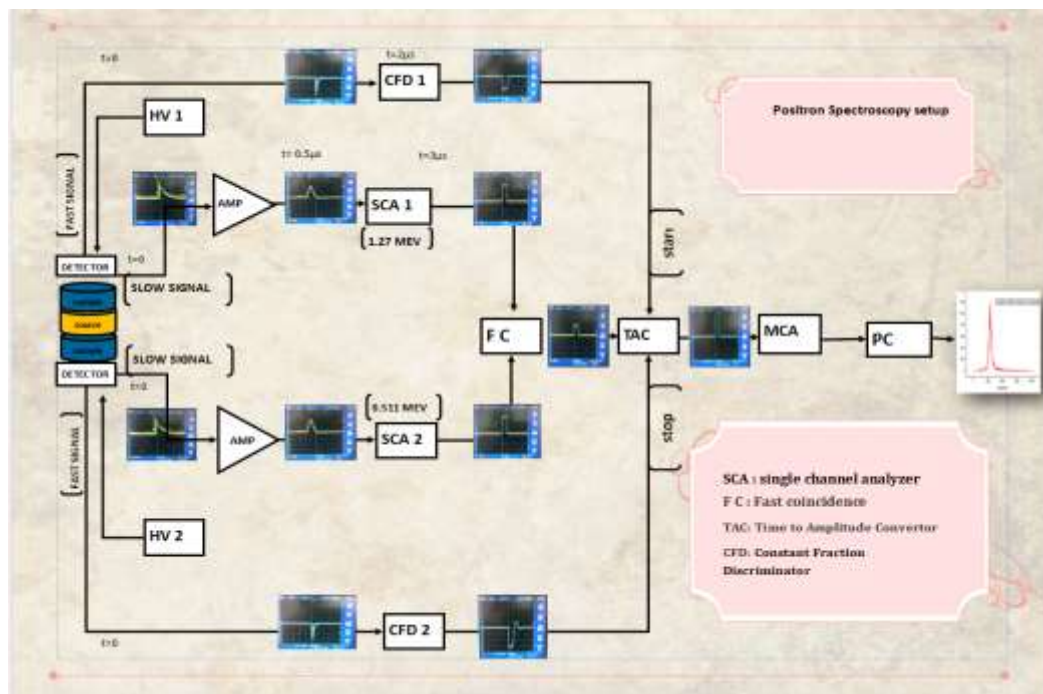
روش کار :

یک نمونه آجر نسوز که به‌عنوان عایق حرارتی در کوره استفاده می‌شود و یک نمونه سرامیک متخلخل با دمای پخت بالا که مراحل سنتز و ساخت آن‌ها در گروه مهندسی مواد دانشگاه سیستان و بلوچستان انجام شده، به‌عنوان مواد متخلخل مورد مطالعه در این پژوهش، مورد استفاده قرار گرفتند.

برای اندازه‌گیری طیف طول عمر نابودی پوزیترون از یک سیستم همزمانی سریع - آهسته استفاده کردیم. طرح‌واره چیدمان دستگاه در شکل (۱) نشان داده شده است. چشمه بکار رفته ^{22}Na با فعالیت کمتر از ۲۰ میکرو کوری است. فعالیت چشمه را برای اجتناب از تداخل رخدادهای نابودی متفاوت کم انتخاب کردیم. چشمه را بین دو فویل استیل مهروموم کرده و برای اطمینان از این‌که همه‌ی پوزیترون‌های ساطع شده به نمونه وارد می‌شود چشمه را بین دو جفت از نمونه ساندویچ کردیم. در این آزمایش، قدرت تفکیک‌پذیری سیستم ۴۲۱ پیکو ثانیه به دست آمد.

در چیدمان شکل (۱) از آشکارسازهای پلاستیکی سریع استفاده شده و تپ‌های سریع و کند از خروجی‌های مناسب PMT، به‌منظور استفاده در کانال‌های زمان‌سنجی و انرژی‌سنجی استخراج گردیده است. در کانال زمان‌سنجی، تپ‌های سریع هر آشکارساز به یک تبعیض گر کسر ثابت رفته و خروجی‌ها به ورودی شروع و پایان مبدل زمان به دامنه فرستاده می‌شود. یکی از آشکارسازها مسئول ثبت گامای تولد و دیگری مسئول ثبت گامای نابودی است. از این‌رو، ارتفاع تپ خروجی مبدل زمان به دامنه، متناسب با طول عمر پوزیترون در نمونه خواهد بود. در سمت دیگر، تپ‌های متناظر در قسمت انرژی‌سنجی، پس از تقویت در تقویت‌کننده به تحلیل‌گر تک کاناله می‌روند. با توجه به انرژی پرتوهای تولد و پرتوهای حاصل از نابودی، تحلیل‌گرهای تک کاناله متناظر به دقت تنظیم می‌شوند. هدف از انجام این کار این است که با بررسی انرژی و مسدود کردن انرژی‌های خارج از محدوده مجاز در تحلیل‌گر تک کاناله، مطمئن شویم آشکارسازهای مربوط

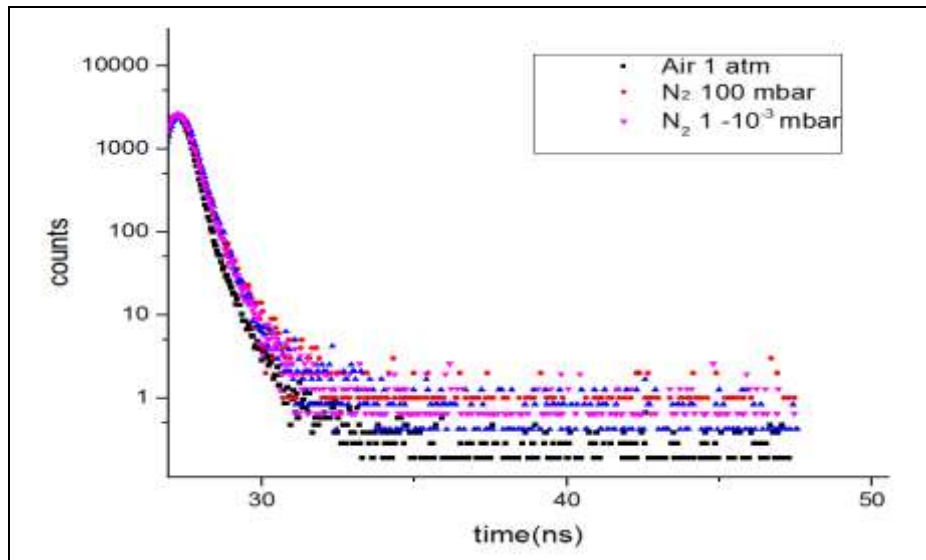
به ثبت گامای تولد و نابودی، پدیده‌های درست را ثبت می‌کنند. خروجی تحلیل‌گرهای تک کاناله به یک دستگاه همزمانی سریع فرستاده می‌شود و در صورتی که دستگاه دو پرتو را در یک بازه معین همزمان تشخیص داد، یک تپ به قسمت زمان‌سنجی فرستاده می‌شود. خروجی دستگاه مبدل زمان به دامنه در قسمت زمان‌سنجی تنها در صورتی ثبت می‌شود که این تپ توسط مبدل زمان به دامنه دریافت شود. این فرایند سبب کاهش قابل توجه پدیده‌های ناخواسته و بهبود قدرت تفکیک زمانی دستگاه می‌شود. در نهایت، خروجی مبدل زمان به دامنه را به یک تحلیلگر چندکاناله فرستاده می‌شود تا طیف زمانی نابودی پوزیترون در نمونه ثبت گردد.



شکل شماره (۱): طرح‌واره‌ای از چیدمان دستگاه طیف‌سنجی طول عمر نابودی پوزیترون

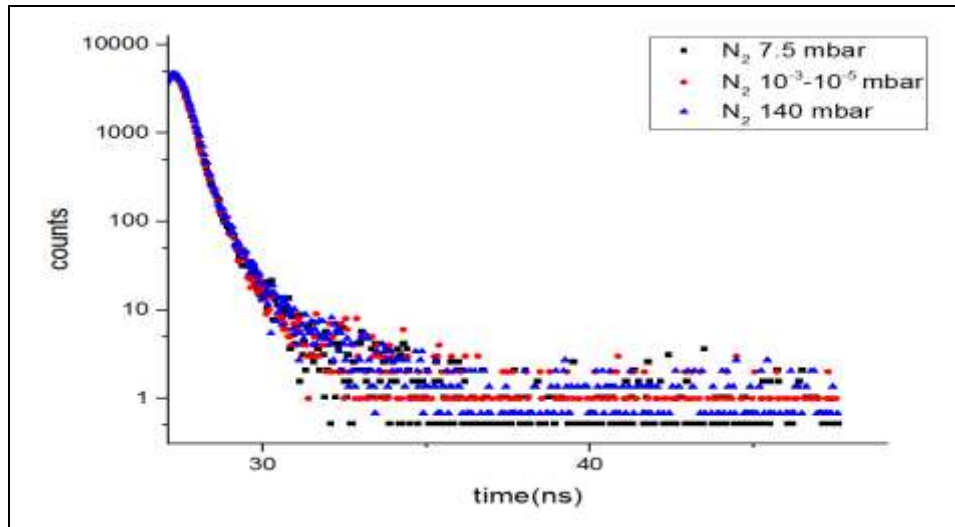
برای حضور گاز ازت با فشارهای مختلف از یک محفظه خلأ مجهز به دو پمپ روتاری و توربو استفاده شد تا مراحل تخلیه نمونه از هوای محیط و تزریق گاز با فشار دلخواه به خوبی انجام شود. در ابتدا نمونه آجری را در مجاورت هوای یک اتمسفری قرار داده و داده‌گیری در مدت ۴۲ ساعت انجام شد. سپس گاز ازت با فشار یک تا 10^{-3} میلی بار وارد محفظه شد و به مدت ۱۲۲ ساعت داده گرفته شد. بعد از این مرحله، گاز ازت با فشار ۱۰۰ میلی بار به مدت ۴۲ ساعت وارد محفظه شد و طیف‌های طول عمر جمع‌آوری شد.

شکل شماره (۲)، سه طیف طول عمر پوزیترون در نمونه آجر را نشان می دهد که همه ی طیف ها نسبت به کمترین قله با ضریبی کاهش یافته اند و اصطلاحاً هم وزن شده اند.



شکل شماره (۲): سه طیف هم وزن طول عمر نابودی پوزیترون در نمونه آجر در فشار یک اتمسفری هوا، فشار ۱۰۰ میلی بار گاز ازت و فشار یک تا 10^{-3} میلی بار گاز ازت.

برای نمونه سرامیک، ابتدا پس از تزریق گاز ازت فشار را تا حدود ۷/۵ میلی بار بالا بردیم و برای مدت ۶۳ ساعت طیف طول عمر جمع آوری شد. پس از این مدت، گاز ازت با یک روند کاهشی از 10^{-3} تا 10^{-5} میلی بار کاهش داده شد و در این مدت که ۱۰۷ ساعت به طول انجامید طیف طول عمر جمع آوری شد. در آخرین مرحله، گاز ازت با فشار $1/4 \times 10^2$ میلی بار به محفظه وارد و برای ۹۳ ساعت داده گیری انجام شد. شکل شماره (۳) سه طیف طول عمر نمونه سرامیک در شرایط مختلف فشاری که هم وزن شده اند را نشان می دهد.



شکل شماره (۳): سه طیف هم‌وزن طول عمر نابودی پوزیترون در نمونه سرامیک در حضور گاز ازت با فشارهای ۷/۵ میلی بار، 10^{-3} تا 10^{-5} میلی بار و ۱۴۰ میلی بار.

تجزیه و تحلیل نتایج:

برای تجزیه و تحلیل طیف‌های طول عمر به دست آمده، از نرم‌افزار PASCUAL استفاده شد. سه مؤلفه‌ی طول عمر برای برازش به طیف کلی طول عمر در نظر گرفته شد: مؤلفه‌ی اول مربوط به نابودی در چشمه حدود ۱۸۶ پیکو ثانیه و در تمام تجزیه و تحلیل‌ها با شدت ۱۰ درصد ثابت فرض شد. مؤلفه‌ی دوم مربوط به نابودی پوزیترون آزاد و مؤلفه‌ی سوم مربوط به نابودی اورتوپوزیترون‌یوم در نظر گرفته شد. جدول شماره (۱) طول عمرهای به دست آمده برای دو نمونه در شرایط و فشارهای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱): طول عمر و شدت مؤلفه‌های دوم و سوم برازش شده به طیف کلی طول عمر پوزیترون. مؤلفه اول مربوط به نابودی در چشمه با طول عمر ۱۸۶ پیکو ثانیه و شدت ۱۰ درصد در تمام طیف‌ها ثابت فرض شده است.

نمونه	فشار	$\tau_2(ps)$	$I_2(\%)$	$\tau_3(ps)$	$I_3(\%)$
آجر	یک اتمسفری هوا	۳۰۳(۸۶۰)	۸۹/۳(۱۰/۱)	۴۴۹۷(۵۰۵)	۰/۷(۱۲/۵)
آجر	۱۰۰ میلی بار گاز ازت	۳۴۹(۶۲۶)	۸۷/۲(۹)	۱۵۸۷(۳۵۰)	۲/۸(۱۴)
آجر	۱ تا 10^{-3} میلی بار گاز ازت	۳۷۴(۴۱۱)	۸۸/۹(۸/۸)	۶۴۹۹(۷۴۰)	۱/۱(۱۳)
سرامیک	۱۴۰ میلی بار گاز ازت	۳۳۲(۴۴۲)	۸۴/۹(۱۶/۴)	۱۵۸۴(۶۹۰)	۵/۱(۱۴/۳)
سرامیک	۷/۵ میلی بار گاز ازت	۳۶۶(۷۰۹)	۸۸/۲(۱۴)	۴۶۰۰(۸۴۰)	۱/۸(۱۸/۸)
سرامیک	10^{-3} تا 10^{-5} میلی بار گاز ازت	۳۹۳(۶۳۰)	۸۹/۷(۱۲/۹)	۶۵۳۰(۹۹۰)	۰/۳(۱۱/۶)

بحث و نتیجه گیری:

نتایج این تحقیق نشان می دهد که با کاهش فشار گاز در نمونه سرامیکی، سهم مربوط به نابودی اورتوپوزیترونیم کاهش یافته و طول عمر متناظر با آن افزایش می یابد. روند مشابهی برای نمونه آجری در حضور گاز ازت مشاهده می شود. می توان نتیجه گرفت که با کاهش فشار گاز و تخلیه حفره ها، فرایند های فرونشانی ناشی از تعامل مولکول های گاز با اورتوپوزیترونیم کاهش یافته و بنابراین، میانگین طول عمر اورتوپوزیترونیم افزایش می یابد. روند کاهشی سهم این مولفه از طیف می تواند به سبب کاهش احتمال تشکیل پوزیترونیم در خلا های بالاتر باشد. نتیجه گیری های دقیق تر نیازمند آمار شمارشی بالا و تعیین دقیق سهم نابودی اورتوپوزیترونیم هایی است که با ثابت واپاشی خلا و به صورت سه گامی واپاشی می کنند که این اندازه گیری با چیدمان حاضر امکان پذیر نیست.

مراجع :

1. Marek, G., Radoslaw, Z., Agnieszka, K., Gas filling of SBA-15 silica micropores probed by positron annihilation lifetime spectroscopy (PALS), NUKLEONIKA 2013;58(1):229-233.
2. Liu, P.S., G.F.Chen., General Introduction to porous Materials, 2014, chapter1.
3. Jens,K., David, E., Stefan, T.,R.Krause-Rehberg,. Alexandra, I., Characterization of Nanoporous Monoliths Using Nitrogen Adsorption and Positronium Annihilation Lifetime Spectroscopy, Physicochem. Eng. Aspects 367(2010) 17-20.
4. Yawei, Z., Wenfeng, M., Qichao, L ., Juncheng, W., Chunqing, H., Formation and annihilation of positronium in silica aerogels under atmosphere of oxygen and nitrogen mixture, Chemical Physics 459(2015)81-86.
5. Zbigniew, S., Marek, W., Radoslaw, Z., Mieczyslaw, B., Jacek, G., Positron annihilation study of oxide nanoparticles in mesoporous silica MCM-41 template, NUKLEONIKA 2010;55(1):91-96.