



## رشد سنتیلاتور NaI(Tl)، اندازه گیری و شبیه سازی تابع پاسخ آن

عدالتخواه، الهام<sup>۱</sup> - خلفی، حسین<sup>۲</sup> - فری پور، حیدر<sup>۳</sup> - کاسه ساز، یاسر<sup>۴</sup>

- ۱- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده علوم هسته ای
- ۲- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها
- ۳- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده لیزر و اپتیک
- ۴- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

### چکیده:

در این پروژه، نمونه ای از تک بلور  $NaI(Tl)$ ، سنتیلاتور متداول اسپکتروسکوپی گاما، رشد داده شد. سپس تابع پاسخ آن به دو صورت تجربی (با اسپکتروسکوپی گاما) و تئوری (با شبیه سازی توسط کد محاسباتی MCNP) بدست آمد. مقایسه طیفهای تجربی و تئوری نشان می دهد که طیف تجربی قله های پهن تری نسبت به طیف تئوری دارد. این پهن شدگی ناشی از حضور ناخالصیهای هیدرات و کربنات در بلور است که ناخواسته وارد محیط رشد شده اند. این ناخالصیها با وجود آوردن زیرترازهای جدید انرژی، باعث کمتر شدن توان تفکیک انرژی سنتیلاتور می گردند.

کلیدواژه: رشد بلور، آشکارساز سنتیلاسیون، کد محاسباتی MCNP

### مقدمه:

آشکارسازهای سنتیلاسیون در فیزیک انرژی بالا، تصویربرداری پزشکی و اسپکتروسکوپی گاما [۱] به کار میروند. از میان سنتیلاتورها، سنتیلاتورهای معدنی به دلیل عدد اتمی و چگالی بالا در آشکارسازی پرتوهای یونساز خصوصاً پرتوهای گاما کاربرد گسترده ای دارند [۲]. یکی از متداولترین سنتیلاتورهای معدنی که در

اسپکتروسکوپی گاما استفاده میشود، یدید سدیم دوپ شده با تالیم،  $\text{NaI(Tl)}$ ، است. ابتدا این بلور به روش چوخرالسکی<sup>۱</sup> [۳] (یکی از روشهای رشد بلور از مذاب) رشد داده شد. پس از آن، تابع پاسخ گامای این آشکارساز به صورت تجربی اندازه گیری گردید. سپس تابع پاسخ تئوری آن با استفاده از کد محاسباتی MCNP [۴] بدست آمد و نتایج با هم مقایسه شد.

## روش کار:

### ۱- رشد بلور $\text{NaI(Tl)}$

تک بلور  $\text{NaI(Tl)}$  با استفاده از دستگاه رشد بلور به روش چوخرالسکی تهیه شده است. در شکل (۱) نمایی از این دستگاه که ساخت متخصصین داخل کشور می باشد، نشان داده شده است. اجزای اصلی این دستگاه عبارتند از: کوره، محفظه دستگاه و ملزومات آن، سیستم بالابرنده و چرخنده بلور دانه، سیستم کنترل کننده کوره و بالابرنده دستگاه [۵]. برای رشد تک بلور  $\text{NaI(Tl)}$  ابتدا پودر  $\text{NaI}$  و پودر  $\text{TlI}$  با نسبت ۰/۳ درصد مولی در بوته ریخته شده و دمای کوره با نرخ ۳۰ درجه بر ساعت تحت خلا تا  $400^{\circ}\text{C}$  افزایش می یابد. برای خلا کردن محفظه دستگاه رشد از پمپ خلا روتوری استفاده گردید و خلا نهایی سیستم به حدود  $6 \times 10^{-3}$  torr رسید. سپس با متوقف کردن تخلیه هوا و تزریق گاز آرگون، دما تا  $800^{\circ}\text{C}$  افزایش داده شد تا پودر کاملاً به مذاب

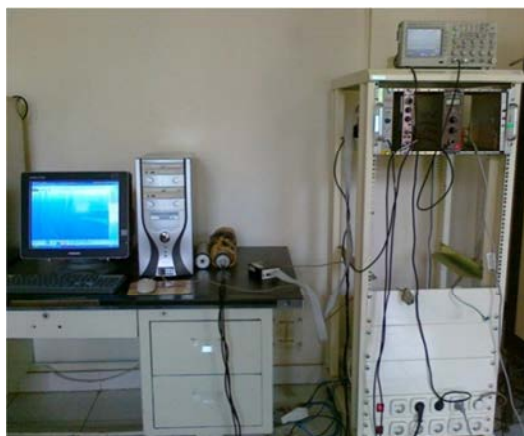


شکل (۱)- دستگاه رشد بلور

تبدیل شود. پس از مدتی، با همگن شدن مذاب و مماس کردن بلور دانه به مذاب و کشیدن آن عمل رشد آغاز گردید. سرعت متوسط رشد بلور حدود ۳ میلی متر در ساعت و سرعت چرخش بلور دانه در حدود ۲۵ دور بر دقیقه می باشند. پس از رشد، بلور از مذاب جدا شد. برای جلوگیری از ترک برداشتن بلور عملیات حرارتی بر آن اعمال گردید بدین ترتیب که به مدت ۱۲ ساعت در دمای ثابت  $520^{\circ}\text{C}$  قرار گرفت. با رساندن دمای کوره به دمای محیط با آهنگ  $20^{\circ}\text{C/h}$ ، می توان بلور را از دستگاه خارج کرده و در پارافین مایع نگهداری نمود.

## ۲- اسپکتروسکوپی گاما

بلور خارج شده از دستگاه برش داده شد و قطعه ای از آن پولیش گردید. این قطعه، مکعبی است در ابعاد  $1 \times 1/5 \times 2/5 \text{ cm}$  که در شکل (۲-الف) آورده شده است. منحنی فرکانس تعداد فوتونهای نور رسیده به لامپ تکثیرکننده فوتونی<sup>۳</sup> بر حسب انرژی که به عنوان تابع پاسخ شناخته شده است، مشخصه مهم سنتیلاتورها میباشد که میتواند به صورت تجربی یا با محاسبات مونت کارلو بدست آید [۶]. جهت اندازه گیری تابع پاسخ، از چشمه



(ب)



(الف)

شکل (۲-الف) قطعه ای از بلور  $\text{NaI(Tl)}$  رشد داده شده (ب) الکترونیک اسپکتروسکوپی

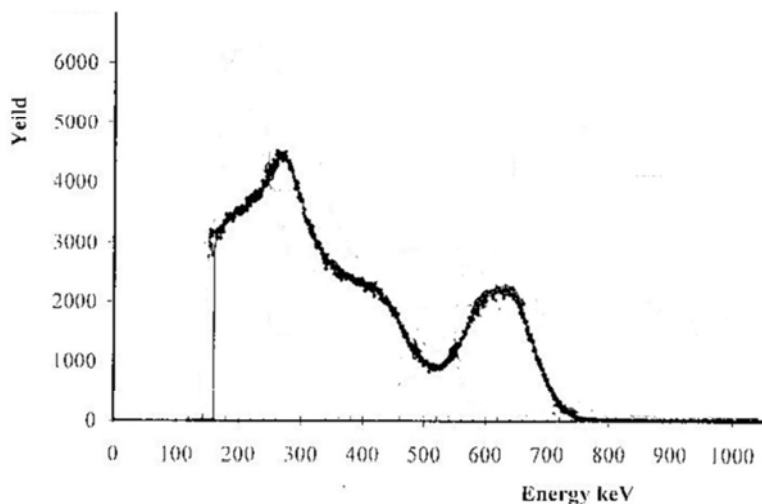
$^{137}\text{Cs}$  با انرژی گامای  $662\text{keV}$  استفاده گردید. بدین منظور نمونه در فویل آلومینیومی به ضخامت  $1\text{mm}$  پیچیده و بر روی لامپ تکثیرکننده فوتونی کوپل گردید. سیستم اسپکتروسکوپی استفاده شده در شکل (۲-ب) آورده شده است.

### ۳- شبیه سازی تابع پاسخ

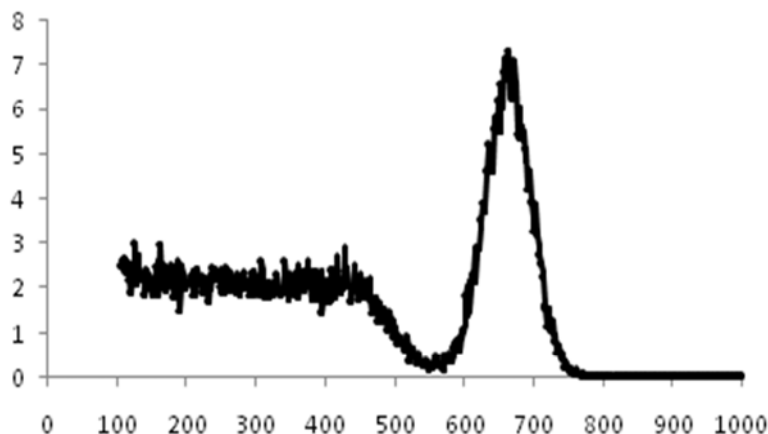
جهت شبیه سازی و محاسبه تابع پاسخ نمونه، از کد  $\text{MCNP4C}$  استفاده شد. داده های خروجی کد با استفاده از کارت  $\text{GEB}^4$  و در نظر گرفتن توان تفکیک انرژی نمونه (۷٪ در  $662\text{keV}$ ) تصحیح شده اند.

### نتایج:

طیف اندازه گیری شده (تجربی) و طیف حاصل از داده های خروجی کد  $\text{MCNP}$  (تئوری) در شکل (۴-الف) و (۴-ب) آورده شده است.



شکل (۴-الف) - طیف تجربی

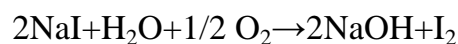


شکل (۴-ب) - طیف بدست آمده از نتایج کد MCNP

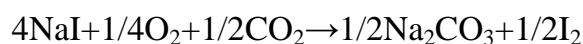
### بحث و نتیجه گیری:

هدف از این مقاله، مقایسه تابع پاسخ بلور NaI(Tl) تجربی (رشد داده شده) و تئوری (شبه سازی شده) میباشد. مقایسه شکل‌های (۴-الف) و (۴-ب) نشان می‌دهد که طیف تجربی قله‌های پهن تری نسبت به طیف تئوری دارد. پهن شدن قله‌ها از وجود یون OH در ماده NaI و گاز Co<sub>2</sub> در محیط رشد ناشی می‌شود [۷].

NaI ماده رطوبت گیری است و در شرایط عادی همیشه مقداری آب در خود جای می‌دهد. بنابراین اگر در هنگام فرآیند رشد (به دلیل عدم وجود خلا کافی در حد ۱۰<sup>-۴</sup> torr) یون OH از محیط خارج نشود، مقداری از ماده اولیه طبق واکنش زیر به سود سوزآور تبدیل خواهد شد [۷]:



همچنین عدم وجود خلا کافی در سیستم رشد می‌تواند باعث ترکیب ملزومات و متعلقات بوته رشد (از قبیل نگهدارنده و کلاه کوره که از جنس گرافیت هستند) با اکسیژن گردد که طبق واکنش زیر منجر به تولید Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> در محیط رشد میشود [۸]:



کربنات سدیم و سود سوزآور ناخالصیهایی هستند که هر کدام به نوبه خود ناخواسته در محیط رشد وارد شده و باعث پهن شدگی طیف گاما می گردند. به عبارت دیگر، وجود ناخالصی هیدرات و کربنات در بلور موجب بوجود آمدن زیر ترازهای جدید انرژی شده و این پدیده باعث کمتر شدن توان تفکیک انرژی بلور می گردد.

#### مراجع:

- 1- Scintillation Products, Organic Scintillation Materials, Saint-Gobain Ceramics & Plastics. 2011
  - 2- Knoll, G.F. Radiation Detection & Measurement, John Wiley, New York, 2000
  - 3- **Jiang H., et al.** Czochralski growth and scintillation properties of  $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$  (BSO) single crystal, Nucl. Instr. & Meth. in Phy. Res. sectionA. vol.648, Issue1.2011
  - 4- Briesmeister, J. F. E. "MCNP—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Version 4C." LA-13709M. 2000
  - ۵- فری پور-ح "طراحی و ساخت دستگاه رشد بلور به روش چوخرالسکی تحت فلوی گاز"، گزارش علمی و فنی سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۸۲
  - 6- **Miri Hakimabad H., et al.** Asian J. Exp. Sci., Vol. 21, No. 1, 2007
  - 7- Kostenko, N.S., et al. Effect of anionic impurities developing during the growth of the NaI(Tl) single crystals upon their luminescence & scintillation properties. Zhurnal Prikladnoi Spektroskopii, vol.3, No.6, 573-575,1965
- Lecoq.P., et al .Inorganic scintillators for detector systems physical principles & crystal engineer-ing. Springer. 2006