



## اثر تغییرات دما بر نور خروجی، تابع پاسخ و قدرت تفکیک انرژی سوسوزن‌های یدور سدیم و اکسید ژرمنات بیسموت

شهرزاد شیوخی<sup>۱\*</sup>، جواد رحیقی<sup>۲</sup>، مرتضی جعفرزاده خطیبانی<sup>۲</sup>، حسین قدس<sup>۲</sup>

۱- شرکت پسمانداری صنعت هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران-ایران

۲- آزمایشگاه فیزیک نوترون، پژوهشگاه علوم هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران-ایران

**چکیده:** پایداری نور خروجی، قدرت تفکیک انرژی و بازده سوسوزنی در طیف‌نگاری پرتو گاما از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به تغییرات دمای ناشی از شرایط اندازه‌گیری و تأثیر آن بر تابع پاسخ سوسوزن‌های یدور سدیم NaI(Tl) و اکسید ژرمنات بیسموت BGO، به بررسی اثر دما بر سوسوزن‌های یدور سدیم NaI(Tl) و اکسید ژرمنات بیسموت BGO در محدوده‌ی نسبتاً وسیعی از دما پرداخته شده است. اندازه‌گیری‌ها روی کریستال‌هایی با ابعاد "۲×۲" و "۳×۳" در گستره‌ی دمایی ۳۰- تا ۷۰°C+ و در محدوده‌ی انرژی گامایی ۶۰۰ تا ۱۴۰۰ keV انجام شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که نوع و ابعاد سوسوزن در پاسخ آن‌ها نسبت به تغییرات دما به ویژه در مورد سوسوزن BGO بسیار مؤثر است. به علت یکپارچه بودن لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و سوسوزن، بررسی اثر دما بر سوسوزن به تنهایی دشوار است. از این جهت ابتدا اثر دما بر کل سیستم (سوسوزن و لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی) مورد بررسی قرار گرفته، سپس تأثیر این تغییرات به طور جداگانه بر لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی مطالعه شده است. در اثر افزایش دما شدت نور خروجی و بازده سوسوزن کاهش یافت، هم‌چنین از قدرت تفکیک انرژی سوسوزن کاسته شد، در حالی که کاهش دما بر تابع پاسخ سوسوزن تأثیر معکوس نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** سوسوزن بی‌جی‌او یدور سدیم، توابع پاسخ سوسوزن، قدرت تفکیک انرژی، بازده سوسوزنی، شدت نور خروجی

## Temperature Effect on Response Function, Energy Resolution and Light Output of NaI(Tl) and BGO Scintillators

S. Shooyookhi<sup>1\*</sup>, J. Rahighi<sup>2</sup>, M. Jafarzadeh Khatibani<sup>2</sup>, H. Ghods<sup>2</sup>

1- Nuclear Waste Management Company, AEOL, P.O.Box: 11365-8486, Tehran - Iran

2- Neutron Physics Laboratory, Nuclear Science Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O. Box: 11365-3486, Tehran-Iran

**Abstract:** Due to the importance of the effect of temperature variation on the scintillation parameters, such as the light output, energy resolution and scintillation efficiency, we intended to verify the temperature effect on the response function of the BGO and NaI(Tl) scintillators. For the gamma ray and charged particles detection, scintillators such as Bismuth Germinate Oxide (BGO) and Sodium Iodide activated by Thallium (NaI(Tl)) are widely used. Thus the effect of temperature variation on the scintillation efficiency, light output and energy resolution have been measured using both BGO and NaI(Tl) scintillators of 02"x2" and 03"x3" dimensions in the energy range of 600-1400 keV, and at the temperature ranging from -30°C to +70°C. Since the photomultiplier tubes (PM) tubes and scintillators are connected together, it is rather difficult to study the temperature effect on the scintillator alone, so the effect of temperature change on the PM tubes+scintillators was studied first. A similar study for the PM tube alone has been performed in a different experiment. By increasing the temperature, the scintillator efficiency and the light output decrease and the energy resolution deteriorate, whereas by decreasing the temperature, the light output and the scintillator efficiency increase and the energy resolution will improve.

**Keywords:** BGO & NaI(Tl) Scintillators, Scintillator Response Function, Energy Resolution, Scintillator Efficiency, Light Output

\*email: sshooyookhi@aeoi.org.ir

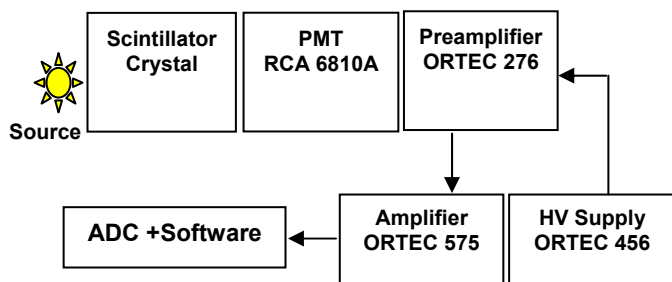
تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۱/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۵/۲۱

با چگالی زیادتر از NaI(Tl) و در حدود  $7.13 \text{ gr/cm}^3$  دارای بازده آشکارسازی بیش تری نسبت به سوسوزن NaI(Tl) است. اندازه‌گیری‌های قبلی [۱، ۲ و ۳] نشان داده‌اند که بازده سوسوزن با کاهش دما افزایش می‌یابد، تأثیر میزان غلظت ناخالصی تألیم (TI) در سوسوزن NaI(Tl) در تغییرات دمایی ۲۲ تا  $10.2^\circ\text{C}$  مورد بررسی قرار گرفته است، که حاصل آن کاهش ارتفاع تپ با افزایش دما و غلظت است [۴، ۵ و ۶]. هم‌چنین مدت واپاشی سوسوزن NaI(Tl) نیز با دما تغییر می‌کند. زمان واپاشی از ۴۰ ns در دمای  $43^\circ\text{C}$  به ۱۵۰ ns در  $50^\circ\text{C}$  کاهش می‌یابد [۷]. بررسی تأثیر دما بر قدرت تفکیک انرژی نشان‌گر این است که قدرت تفکیک انرژی سوسوزن NaI(Tl) از ۱۰.۴٪ در دمای  $21^\circ\text{C}$  به ۹.۸٪ در دمای  $^\circ\text{C}$  کاهش می‌یابد [۸]. مطالعاتی نیز روی رفتار بلور BGO در زاویه‌های فضایی گوناگون در دمای  $35^\circ\text{C}$  انجام شده است و نتایج حاکی از کم شدن قدرت تفکیک و کاهش شدت نور خروجی با افزایش دما است [۹].

## ۲- روش اندازه‌گیری

در اندازه‌گیری‌های انجام شده از دو نوع سوسوزن BGO و NaI(Tl) متصل به لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی مدل RCA 6810A و چشمه‌های  $^{137}\text{Cs}$  با پرتو گامای  $662 \text{ keV}$  و  $^{60}\text{Co}$  با پرتوهای گامایی  $1173 \text{ keV}$  و  $1332 \text{ keV}$  استفاده شده است. نمودار ساده‌ای از تجهیزات الکترونیکی مورد استفاده در اندازه‌گیری در شکل ۱ نشان داده شده است.

خروجی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی که به سوسوزن‌های NaI(Tl) و BGO اتصال اپتیکی دارد به یک پیش تقویت کننده، سپس به یک تقویت کننده می‌رود. به منظور تأمین ولتاژ مورد نظر



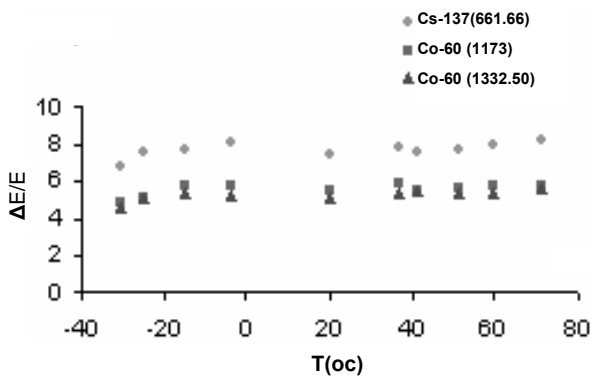
شکل ۱- نمودار تجهیزات الکترونیکی مورد استفاده برای اندازه‌گیری تأثیر تغییرات دما در پاسخ سوسوزن. ناحیه‌ی نقطه‌چین محدوده‌ی اطاقک اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

یکی از مشکلات اساسی در طیف‌نگاری پرتو گاما، به خصوص هنگامی که به دلیل آهنگ شمارش کم، نیاز به زمان داده‌پردازی نسبتاً طولانی است، پایداری بهره‌ی سیستم طیف‌نگاری است. عدم پایداری بهره‌ی سیستم موجب جابه‌جایی قله‌های طیف و در نتیجه کاهش قدرت تفکیک انرژی خواهد شد. قسمت‌های مختلف سیستم طیف‌نگاری شامل سوسوزن، لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و الکترونیک وابسته، در اثر تغییر دما بهره‌ی متغیر دارند. برای انجام تصحیحات لازم چه در حین اندازه‌گیری و چه پس از آن نیاز به داده‌های مربوط به رفتار سوسوزن، لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و الکترونیک وابسته در دماهای مختلف است.

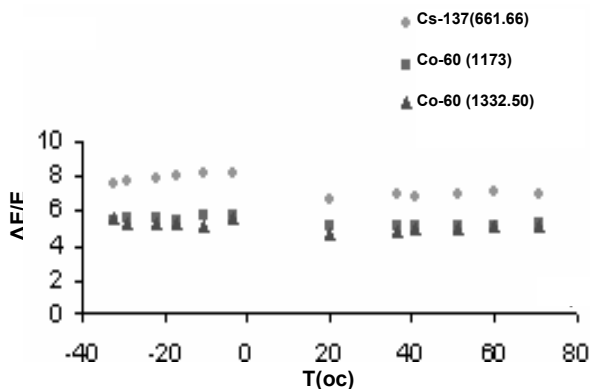
برای آشکارسازی و طیف‌نگاری پرتو گاما، سوسوزن‌های غیرآلی، موادی با چگالی و عدد اتمی بالا، مناسب هستند. از مشخصه‌های مطلوب یک سوسوزن، قدرت جذب پرتو گاما، نور خروجی زیاد، طول موج مناسب نور گسیلیده و شفافیت سوسوزن برای تابش خود است. سوسوزن‌های NaI(Tl) و BGO با چگالی حدود ۳ تا ۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب دارای قدرت جذب کافی در برابر پرتو گاما هستند، و از این‌رو از سوسوزن‌های بسیار متداول در طیف‌نگاری پرتو گاما هستند. نوری که بر اثر سوسوزنی گسیل می‌شود بیش‌تر نتیجه‌ی گذار اتم‌های ناخالصی است نه اتم‌های بلور. چون بیش‌تر انرژی فرودی جذب شبکه بلور شده و سرانجام به گرما تبدیل می‌شود، فلورسان شدن اتم‌های ناخالصی به معنای این است که انرژی بلور میزبان، به ناخالصی انتقال می‌یابد. برای سوسوزن NaI(Tl)، تقریباً ۱۲٪ انرژی فرودی به صورت سوسوزنی تألیم ظاهر می‌شود. مقدار نور خروجی و طول موج نور گسیل شده دو ویژگی مهم هر سوسوزن است. مقدار نور خروجی بر تعداد فوتوالکترون‌های تولید شده در فوتوکاتد تکثیرکننده‌ی فوتونی اثر می‌گذارد. در نتیجه، افزایش جریان الکترون باعث افزایش ارتفاع تپ تولید شده در خروجی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی خواهد شد. به علت زیاد بودن شدت نور خروجی سوسوزن NaI(Tl)، تطبیق مناسب طیف تابشی با محدوده‌ی حساسیت طول موج لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و چگالی حدود  $(3.67 \text{ gr/cm}^3)$  برای آشکارسازی و طیف‌نگاری پرتو گاما، این سوسوزن دارای قدرت تفکیک خوبی است؛ سوسوزن BGO نیز

برحسب دما برای انرژی‌های مختلف در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش دما از  $0^{\circ}\text{C}$  تا  $70^{\circ}\text{C}$  قدرت تفکیک انرژی سوسوزن‌های NaI(Tl) و BGO زیادتر می‌شود.

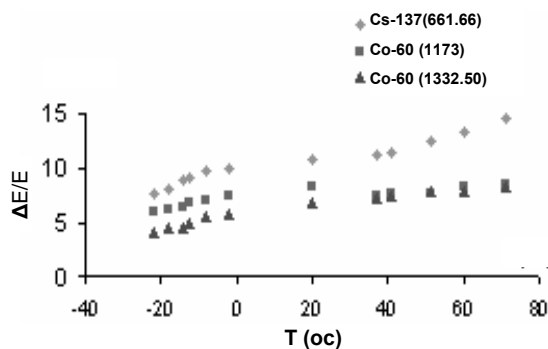
کاهش دما تا حدود  $20^{\circ}\text{C}$  - کاهش قدرت تفکیک انرژی برای سوسوزن‌های BGO و NaI(Tl) را در بر دارد.



شکل ۲- تغییرات قدرت تفکیک انرژی سوسوزن NaI(Tl) با ابعاد  $2'' \times 2''$  برحسب دما و برای انرژی‌های مختلف.



شکل ۳- تغییرات قدرت تفکیک انرژی سوسوزن NaI(Tl) با ابعاد  $3'' \times 3''$  برحسب دما و برای انرژی‌های مختلف.



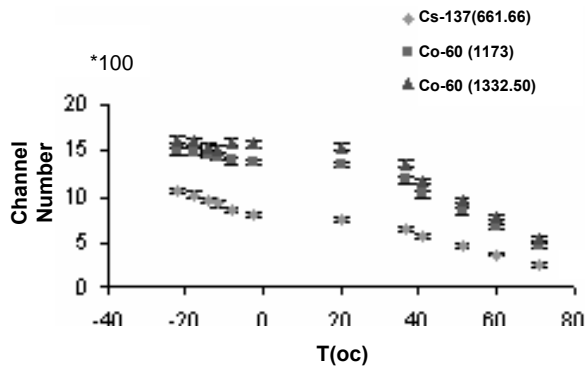
شکل ۴- تغییرات قدرت تفکیک انرژی سوسوزن BGO با ابعاد  $3'' \times 3''$  برحسب دما و برای انرژی‌های مختلف.

از یک منبع تغذیه استفاده شده است. علامت الکترونیکی تقویت شده در تقویت کننده، در یک تحلیل گر چند کاناله  $^{11}\text{MCA}$  و با استفاده از نرم‌افزار داده برداری مائسترو- $^{3}$  تجزیه و تحلیل شده است. برای بررسی تغییرات دما در محدوده  $30^{\circ}\text{C}$  تا  $70^{\circ}\text{C}$ ، سوسوزن، لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و پیش تقویت کننده داخل کوره (جهت افزایش دما) و در درون فریزر (جهت کاهش دما) قرار داده شدند. برای حصول اطمینان از توزیع یکنواخت دما در درون اتاقک اندازه‌گیری از یک دمنده در داخل کوره استفاده شد. در تمام مراحل آزمایش فاصله‌ی چشمه با آشکارساز ثابت نگه‌داشته شد تا از تغییرات آهنگ شمارش و در نتیجه انباشت احتمالی تپ‌ها جلوگیری شود. هر سوسوزن قبل از شروع داده برداری به مدت  $30$  تا  $40$  دقیقه در دمای موردنظر قرار داده شد تا از رسیدن سوسوزن به دمای تعادل اطمینان حاصل شود. زمان رسیدن به تعادل دمایی بستگی به حجم فعال سوسوزن دارد. مدت هر اندازه‌گیری  $30$  دقیقه در نظر گرفته شده است، و به بررسی تأثیر تغییرات دما در محدوده‌ی دمایی  $30^{\circ}\text{C}$  تا  $70^{\circ}\text{C}$  بر قدرت تفکیک انرژی، بازده آشکارسازی و شدت نور خروجی پرداخته شده است. لازم به ذکر است که با هر بار تغییر دما، درجه‌بندی انرژی تکرار شده است زیرا با هر بار تغییر دما شدت نور خروجی و در نتیجه ارتفاع تپ تغییر نموده است. این تغییرات منجر به تغییر درجه‌بندی می‌شود.

### ۳- نتایج اندازه‌گیری

#### ۳-۱- تأثیر دما بر قدرت تفکیک انرژی

چگونگی عمل یک آشکارساز که برای اندازه‌گیری انرژی به کار برده می‌شود به وسیله‌ی پهنای توزیع انرژی یک چشمه مشخص می‌شود. از مهم‌ترین عواملی که بر قدرت تفکیک انرژی اثر دارند می‌توان به افت و خیزهای آماری در تعداد حامل‌های بار تولید شده در آشکارساز (الکترون‌های تولید شده در تکثیرکننده‌ی فوتونی)، نوفه‌های الکتریکی در آشکارساز، پیش تقویت کننده و تقویت کننده، هم‌چنین گردآوری ناقص نور و بارهای تولید شده در آشکارساز اشاره کرد. تغییرات دما ممکن است بر تک‌تک این عوامل اثر گذاشته و منجر به تغییراتی در قدرت تفکیک انرژی شود. تغییرات قدرت تفکیک انرژی در سوسوزن‌های NaI(Tl) و BGO به ابعاد  $3'' \times 3''$  و  $2'' \times 2''$



شکل ۲- تغییرات شدت نور خروجی با دما برای سوسوزن BGO با ابعاد ۳۳×۳۳×۰ و برای انرژی‌های مختلف.

### ۳-۳ تأثیر تغییرات دما بر بازده سوسوزن

افزایش دما در سوسوزن‌های BGO و NaI(Tl) کاهش بازده را به همراه دارد. هم‌چنین با کاهش دما در NaI(Tl) و BGO افزایش بازده ملاحظه می‌شود، اما این تغییرات بسیار ناچیز است. شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان‌دهنده تغییرات بازده سوسوزنی با دما هستند.

با توجه به این که لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و سوسوزن یکپارچه هستند، بررسی اثر دما بر سوسوزن به تنهایی امکان‌پذیر نیست. چون هدف از اندازه‌گیری‌های حاضر بررسی تأثیر دما بر سوسوزن است، ابتدا به بررسی تأثیر دما بر کل سیستم (سوسوزن و لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی) پرداخته، سپس تأثیر دما بر لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی بررسی شده است. تا این مرحله از آزمایش تأثیر دما بر پاسخ سوسوزن‌های NaI(Tl) و BGO مورد بررسی قرار گرفته‌اند، که این تأثیرات ممکن است به میزان قابل توجهی ناشی از تأثیر دما بر سیستم الکترونیکی باشند، در نتیجه در این قسمت سعی شده است سهم تغییر دما بر سیستم الکترونیکی به تنهایی تخمین زده شود. از مقایسه نتایج دو آزمایش مذکور می‌توان به بررسی تأثیر دما بر سوسوزن پرداخت.

### ۳-۴ تأثیر دما بر بهره‌ی الکترونیکی

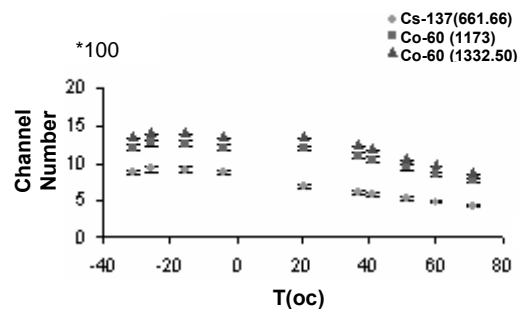
در این مرحله به بررسی تأثیر دما بر الکترونیک سیستم مورد آزمایش پرداخته شده است. ابتدا برای اطمینان از پایداری مولد تپ به مدت ۷ ساعت، در فاصله‌های زمانی یک ساعت دامنه‌ی تپ خروجی مولد تپ مورد بررسی قرار گرفته است. اندازه‌گیری نشان داد که تغییرات دامنه‌ی تپ خروجی مولد تپ کم‌تر از ۱۰mV (~ عرض کانال MCA) است.

قدرت تفکیک انرژی با شدت نور خروجی سوسوزن ارتباط مستقیم دارد. افزایش شدت نور سوسوزن باعث افزایش تعداد الکترون‌های فوتوکاتد، و در نتیجه افزایش جریان داخلی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی می‌شود که این خود باعث کاهش افت و خیز آماری الکترون‌ها و در نتیجه بهتر شدن قدرت تفکیک انرژی خواهد شد.

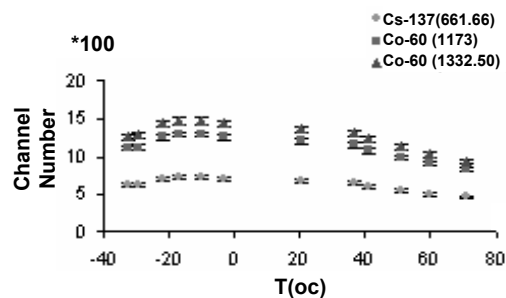
### ۳-۲ تأثیر دما بر شدت نور خروجی سوسوزن

برای اندازه‌گیری انرژی ذره فرودی با یک سوسوزن، ارتباط بین ارتفاع تپ و انرژی ذخیره شده در سوسوزن باید معلوم باشد. ارتفاع تپ متناسب با جریان خروجی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی است. این جریان به نوبه‌ی خود با نور تولید شده در سوسوزن متناسب است. تغییرات دما بر میزان نور خروجی سوسوزن و جریان خروجی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و در نتیجه بر ارتفاع تپ تأثیر می‌گذارد.

در شکل‌های ۵ تا ۷ تغییر شدت نور خروجی برحسب دما برای سوسوزن‌های NaI(Tl) و BGO با ابعاد مختلف نشان داده شده است. با افزایش دما شدت نور خروجی کاهش می‌یابد و با کاهش دما تا حدود ۳۰°C افزایش شدت نور خروجی قابل مشاهده است.



شکل ۵- تغییرات شدت نور خروجی با دما برای سوسوزن NaI(Tl) با ابعاد ۲۲×۲۲×۰ و برای انرژی‌های مختلف.



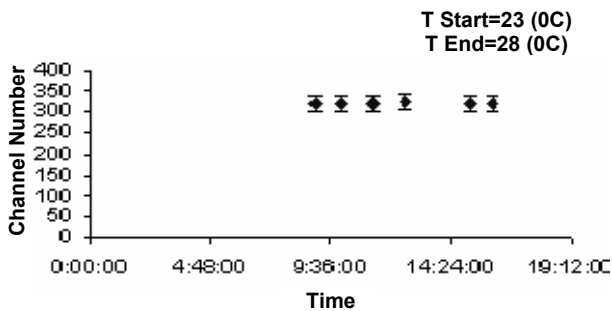
شکل ۶- تغییرات شدت نور خروجی با دما برای سوسوزن NaI(Tl) با ابعاد ۳۳×۳۳×۰ و برای انرژی‌های مختلف.

نشان می‌دهد. شکل ۱۱ نمایان‌گر تغییرات ADC و تقویت‌کننده‌ی اصلی در طول مدت آزمایش است.

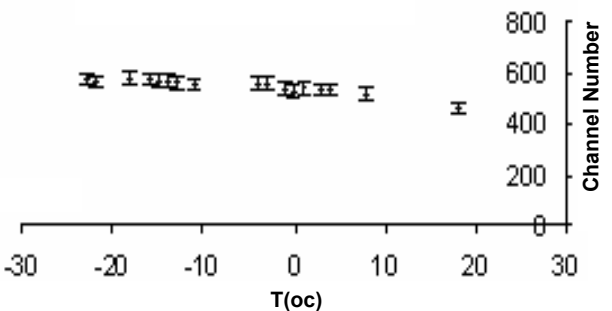
با توجه به طول موج نور سبز (۴۴۰ nm) که در محدوده‌ی پاسخ لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی است از دیود نوری سبز استفاده شده است.

از لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی مدل ARC 6810 A و دیود نوری سبز برای تعیین میزان تغییرات بهره‌ی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی با دما استفاده شده است. به وسیله‌ی یک مولد تپ با پایداری زیاد، تپی در دو سر دیود ایجاد شد. نور دیود با استفاده از یک قطعه‌ی پلکسی گلاس به قطر ۲ اینچ و ارتفاع ۷ سانتی‌متر به طور یکنواخت به لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی رسیده، سپس به یک تقویت‌کننده و به یک تحلیل‌گر چند کاناله فرستاده می‌شد. مدت قرار گرفتن سیستم (لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی) در اتاقک اندازه‌گیری ۴۰ دقیقه و مدت آزمایش ۳۰ دقیقه در تغییر دما است.

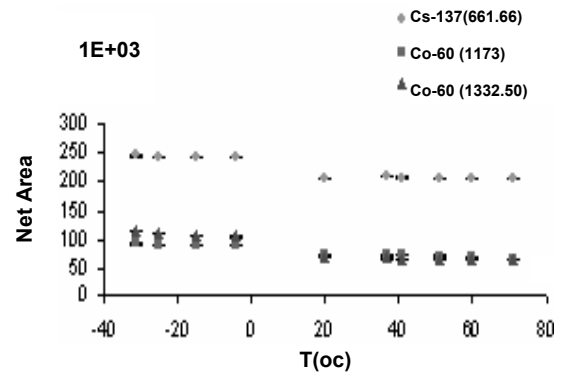
شکل ۱۲ نمایان‌گر تغییرات بهره‌ی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و دیود نوری سبز با کاهش دما است. که افزایشی برابر با  $4\% C^{-1}$  را با کاهش دما نشان می‌دهد. شکل ۱۳ نیز نشان‌گر تغییرات بهره‌ی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی با افزایش دما است. که کاهش بهره‌ی برابر با  $9\% C^{-1}$  در اثر افزایش دما را نشان می‌دهد.



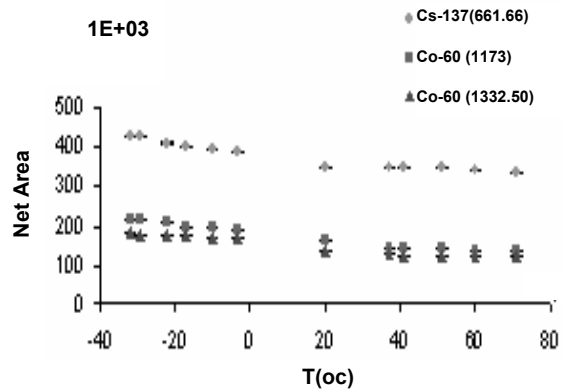
شکل ۱۱- نمودار تغییرات ADC و تقویت‌کننده‌ی اصلی در طول آزمایش.



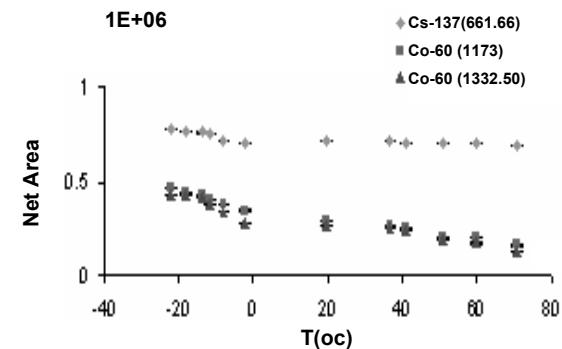
شکل ۱۲- تغییرات بهره‌ی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و دیود نوری سبز با کاهش دما.



شکل ۸- تغییرات بازده سوسوزنی سوسوزن NaI(Tl) با ابعاد  $2 \times 2 \times \emptyset$  برحسب دما و برای انرژی‌های مختلف.

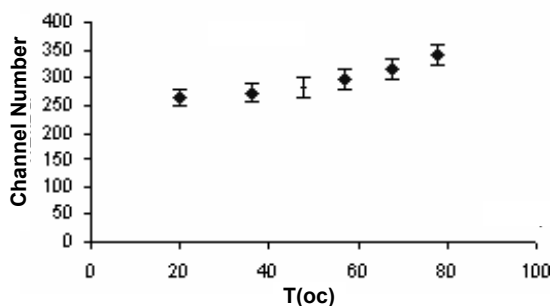


شکل ۹- تغییرات بازده سوسوزنی سوسوزن NaI(Tl) با ابعاد  $3 \times 3 \times \emptyset$  برحسب دما و برای انرژی‌های مختلف.

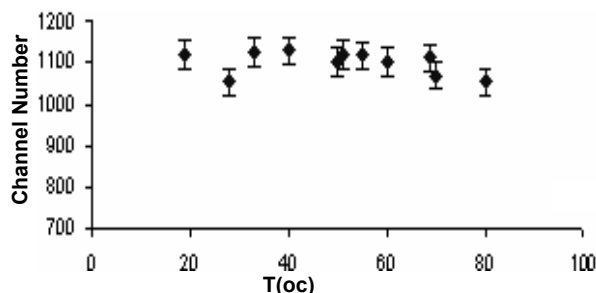


شکل ۱۰- تغییرات بازده سوسوزنی سوسوزن BGO با ابعاد  $3 \times 3 \times \emptyset$  برحسب دما و برای انرژی‌های مختلف.

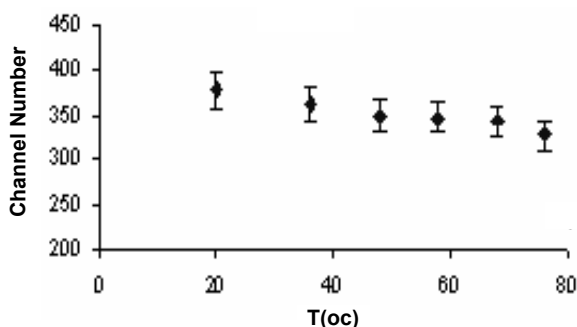
برای اندازه‌گیری تأثیر دما بر بهره‌ی سیستم الکترونیکی (شامل واگردانگر قیاسی به عددی: ADC و تقویت‌کننده) به کمک تپی از یک مولد تپ با پایداری زیاد، بهره‌ی سیستم الکترونیکی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری در حدود  $12\% C^{-1}$  را



شکل ۱۴- نمودار تغییرات بهره‌ی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی با افزایش دما.



شکل ۱۳- تغییرات بهره‌ی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و دیود نوری سبز با افزایش دما.



شکل ۱۵- تغییرات شدت نور خروجی دیود نوری سبز با افزایش دما.

#### ۴- نتیجه‌گیری و بحث

اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان می‌دهند که سوسوزن BGO بیش‌ترین سهم را در مقابل تغییر دما نسبت به دیگر قسمت‌های طیف‌نگاری (شامل لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی، دیود نوری سبز و الکترونیک) دارد.

در مورد سوسوزن NaI(Tl) این نسبت تقریباً مساوی است. در این مورد سهم هر یک از بخش‌های طیف‌نگاری جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است.

در ابتدا به بررسی علت تغییر بهره‌ی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی با تغییر دما و تأثیر آن بر توابع پرداخته شده است. پاسخ سوسوزن را می‌توان به طریق زیر توضیح داد:  
ضریب تقویت یک دینود در لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\delta = N/N_0 \quad (1)$$

$N$ : تعداد الکترون‌های ثانویه ایجاد شده،

$N_0$ : تعداد الکترون‌های برخوردی اولیه.

هم‌چنین بهره‌ی کل یک لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی برابر است:

$$\alpha \delta^M = \text{بهره‌ی کل} \quad (2)$$

با توجه به این نکته که دیود نوری سبز و لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی هر یک به تنهایی در مقابل تغییرات دما دارای پاسخ متفاوتی هستند لازم است که به طور جداگانه هر یک از آن‌ها را در اتاقک اندازه‌گیری قرار داده و تأثیر تغییر دما بر پاسخ این دو قسمت از سیستم بررسی شود.

#### ۳-۵- تأثیر تغییر دما بر لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی

در این مرحله لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی مدل RCA 4518 را درون کوره قرار داده، دما را از دمای اتاق تا  $70^\circ\text{C}$  بالا برده، و به کمک فیبر نوری تپ دیود سبز به لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی فرستاده شد.

نمودار ۱۴ تغییرات بهره‌ی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی با افزایش دما را نشان می‌دهد. با افزایش دما بهره‌ی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی به میزان  $0.56\% \text{C}^{-1}$  افزایش می‌یابد. این تغییرات به نوع دینودها و جنس فوتوکاتد بستگی دارد.

#### ۳-۶- تأثیر تغییر دما بر تپ دیود نوری سبز

اثر تغییر دما بر دیود نوری در بازه‌ی دمایی  $20^\circ\text{C}$  تا  $70^\circ\text{C}$  اندازه‌گیری شد. نور دیود به کمک فیبر نوری به لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی انتقال داده شد. افزایش دما کاهش در حدود  $0.107\% \text{C}^{-1}$  را در خروجی دیود نوری سبز نتیجه می‌دهد.

شکل ۱۵ تغییرات شدت نور خروجی دیود نوری سبز با دما را نشان می‌دهد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از همکاری شرکت پسمانداری صنعت هسته‌ای و آقایان فرهاد ذنوبی و حسن زندی به خاطر کمک‌های فنی بی‌دریغ کمال تشکر را دارد.

### پی‌نوشت:

- ۱- MCA: Multi Channel Analyzer
- ۲- Maestro III
- ۳- Quenching

که در آن،  $\alpha$  کسر فوتون‌های جمع‌آوری شده به وسیله‌ی تکثیرکننده است که برای یک لوله‌ی آرمانی معمولاً برابر یک می‌باشد و  $M$  تعداد مراحل تقویت (تعداد دینودها) است.

با افزایش دما مقاومت الکتریکی فوتوکاتدهای بزرگ‌گ‌قادر به تضعیف میدان الکترواستاتیکی بین فوتوکاتد و اولین دینود شده و در نتیجه بازده جمع‌آوری فوتوالکترون‌ها کاهش می‌یابد [۱۰]. همان‌گونه که از رابطه‌های ۱ و ۲ قابل نتیجه‌گیری است کاهش تعداد الکترون‌های ثانویه ( $N$ ) باعث کاهش ضریب تقویت ( $\delta$ ) و در نتیجه کاهش بهره‌ی کل خواهد شد. در نهایت می‌توان به این نکته اشاره کرد که در سوسوزن‌های مورد استفاده افزایش دما موجب کاهش بهره‌ی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی شده و این به نوبه‌ی خود کاهش  $\delta$  را به همراه دارد. برای مقادیر کوچک  $\delta$ ، تفکیک پدیده‌های ناشی از یک تک فوتوالکترون از پدیده‌های منتج از چند فوتوالکترون به آسانی امکان‌پذیر نیست که این امر کاهش قدرت تفکیک انرژی را به دنبال می‌آورد.

شدت نور خروجی (Photon MeV) در اکثر سوسوزن‌ها به دما بستگی دارد، در اغلب بلورهای سوسوزن، نور خروجی با افزایش دما کاهش می‌یابد.

فرایند سوسوزنی معمولاً به عنوان یک عامل مناسب جهت تولید نور، انتقال و فرونشانی<sup>(۳)</sup> است. مقایسه بین این سه مرحله (تولید، انتقال و خاموشی) که هر کدام دارای رفتار متفاوتی بر حسب دما است، باعث وابستگی پیچیده‌ی نور خروجی به دما می‌شود.

تغییر در موقعیت یک قله ناشی از تغییر در ارتفاع تپ است، تفاوتی که در تغییرات داده‌ها در آشکارسازهای NaI(Tl) و BGO قابل مشاهده است ناشی از موارد ذیل است:

NaI(Tl) دارای دو مرکز تابشی ید و تالیم است که با کاهش دما بسته‌های انرژی دارای تأثیر کم‌تری بر روی مراکز تالیم شده و تنها میزبان موجود مراکز ید می‌باشد [۱۱]. در آشکارساز BGO تغییرات حاصله ناشی از تغییر در بهره‌ی تقویت سیستم است. تغییرات سریع BGO نسبت به NaI(Tl) به سبب سطح مقطع برخورد بزرگ‌تر فوتون با بیسموت نسبت به ید به ویژه در انرژی‌های پایین‌تر، هنگامی که اثر فوتوالکتریک غالب است، می‌باشد. هم‌چنین کاهش و افزایش دما باعث افزایش و کاهش مدت واپاشی بلور می‌گردد که منجر به تغییر در بازده سوسوزنی می‌شود.



## References:

1. R.L. Health, R. Hofstadter, E.B. Hughes, "Temperature dependence of the fast near-band-edge-scintillation from  $\text{CuI}$ ,  $\text{HgI}_2$ ,  $\text{PbI}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Ga}$  and  $\text{CdS}$ : In," Nucl. Instr. Meth. 162, 431, (Review article listing 127 references) (1979).
2. D. Aliaga-Kelly and D.R. Nicoll, "Recent developments in scintillation detector," Nucl. Instr. Meth. 43, 110 (1966).
3. C. Colmenares, E.G. Shapiro, P.E. Barry, C.T. Prevo, "Use of a bare  $\text{CaF}_2$  (EU) to assess the escape peak," Nucl. Instr. Meth. 114, 277 (1974).
4. M. Campbell, K.W.D. Ledingham, A.D. Baillie, J.G. Lynch, "New result on gaseous detector using medipix2 and microgas," Nucl. Instr. Meth. 137, 235 (1976).
5. E. Catalano and J.B. Czirr, "Scintillation light yield of  $\text{BaF}_2$ : co," Nucl. Instr. Meth. 143, 61 (1977).
6. F. Brooks, "Development of organic scintillators," Nucl. Instr. Meth. 162, 477 (Review article listing 274 references) (1979).
7. L.M. Bollinger and G.E. Thomas, "High temperature performance characteristics of a nuclear detector," Rev. Sci. Instr. 28, 489 (1957).
8. J. Hellstrom and S. Beshae, "Temperature effect on the response function of NaI (TI) detectors," Nucl. Instr. Meth. 101, 267 (1972).
9. R. Bergere, H. Beil, A. Veyssiere, "Radiation detection and measurement," Nucl. Phys. A121, 453 (1968).
10. F. Glenn, Knoll, "Radiation detection and measurement," John Wiley & Sons (1999).
11. E.D.E.R. Mateosianm, Mckeown, C.O. Muehlhause, "Response sodium iodide crystal to alpha particles and electrons as function of temperature," Physical. Rev. Vol. 101, 967, 971 (1956).