

## تأثیر تغییرات دما بر نور خروجی، تابع پاسخ و قدرت تفکیک انرژی سوسوزن های یدور

سدیم  $\text{NaI(Tl)}$  بیسموت ژرمانیوم اکساید BGO

\*شهرزادشیوخی<sup>۱</sup>، جواد رحیقی<sup>۲</sup>، مرتضی جعفر زاده<sup>۲</sup> و حسین قدس<sup>۲</sup>

۱-دکتر پسمانداری هسته ای سازمان انرژی اتمی ایران ۲-گروه فیزیک نوترن مرکز تحقیقات هسته ای سازمان انرژی اتمی ایران

### چکیده

پاسخ سوسوزن های یدور سدیم  $\text{NaI(Tl)}$  و اکسید بیسموت ژرمانیوم BGO در محدوده نسبتاً وسیعی از دما مورد بررسی قرار گرفته است. اندازه گیری ها برای کریستال های در ابعاد  $3'' \times 3'' \times 0.3''$  و  $2'' \times 2'' \times 0.3''$  و برای تغییرات دما از  $30^{\circ}\text{C}$  تا  $70^{\circ}\text{C} +$  و در محدوده انرژی گامای  $600\text{ KeV}$  تا  $1400\text{ KeV}$  انجام شده است. بررسی ها نشان میدهد که نوع سوسوزن و ابعاد آشکار ساز در پاسخ آنها نسبت به تغییرات دما به ویژه برای سوسوزن BGO بسیار موثر است.

### ۱- مقدمه

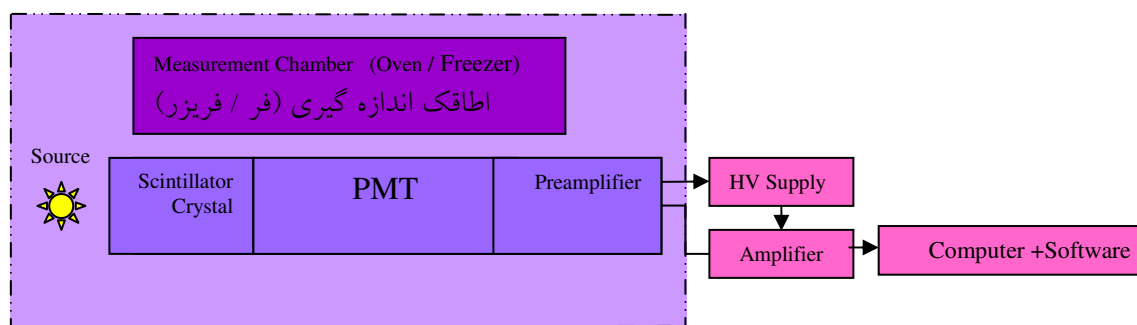
برای آشکارسازی و طیف نگاری اشعه گاما، سوسوزن های غیر آلی متشکل از موادی با چگالی و عدد اتمی زیاد مناسب هستند. مشخصه های مطلوب دیگر یک سوسوزن قدرت جذب پرتو گاما، نور خروجی زیاد، طول موج نور گسیلی و شفافیت سوسوزن در مقابل نور حاصل از سوسوزنی است این مشخصه ها مستقیماً در کارایی آشکار ساز تأثیر دارد. سوسوزن های  $\text{NaI(Tl)}$  و BGO با چگالی حدود ۳ تا ۹ گرم بر سانتی متر مکعب دارای قدرت جذب کافی در برابر اشعه گاما هستند، از این رو و به دلیل دارا بودن مشخصه های فوق سوسوزن های  $\text{NaI(Tl)}$  و BGO از سوسوزن های بسیار متداول در طیف نگاری اشعه گاما هستند. نوری که بر اثر سوسوزنی گسیل می شود بیشتر نتیجه گذار اتمهای ناخالصی است، نه اتمهای بلور. چون بیشتر انرژی فرودی به شبکه بلور می رود و سرانجام تبدیل به گرما می شود، پیدایش لمونسانس تولید شده از اتمهای ناخالصی به معنای این است که انرژی بلور مهماندار به ناخالصی انتقال می یابد. برای سوسوزن  $\text{NaI(Tl)}$ ، تقریباً ۱۲٪ انرژی فرودی به صورت سوسوزنی تالیوم ظاهر می شود. مقدار نور خروجی و طول موج نور گسیل شده دو ویژگی مهم هر سوسوزن است. مقدار نور خروجی بر تعداد فوتوالکترونها تولید شده در ورودی تکثیر کننده فوتون اثر می گذارد، که این خود بر ارتفاع پالس تولید شده در خروجی دستگاه شمارنده موثر است. سوسوزن  $\text{NaI(Tl)}$  به علت زیاد بودن شدت نور خروجی آن،

قدرت تطبیق مناسب طیف تابشی با محدوده حساسیت طول موج لامپ تکثیر کننده فوتونی، و با چگالی حدود  $(3/67 \text{ gr/cm}^3)$  برای آشکارسازی و طیف نگاری اشعه گاما، دارای قدرت تفکیک خوبی است، سوسوزن BGO نیز با چگالی زیاد تر از  $\text{NaI(Tl)}$  و در حدود  $(7/13 \text{ gr/cm}^3)$  دارای بازده آشکارسازی بیشتری نسبت به سوسوزن  $\text{NaI(Tl)}$  است.

مطالعات نشان می دهد بازده سوسوزن با کاهش دما افزایش می یابد [۱-۳]، تاثیر میزان غلظت ناخالصی تالیوم (Tl) در سوسوزن  $\text{NaI(Tl)}$  در تغییرات دمایی  $20^\circ\text{C}$  تا  $1020^\circ\text{C}$  مورد بررسی قرار گرفته است. که کاهش ارتفاع پالس با افزایش دما و افزایش غلظت را نتیجه می دهد. [۴-۶]. همچنین زمان واپاشی سوسوزن  $\text{NaI(Tl)}$  نیز با دما تغییر می کند، زمان واپاشی از  $400 \text{ ns}$  در دمای  $430^\circ\text{C}$  - به  $150 \text{ ns}$  در  $50^\circ\text{C}$  کاهش می یابد [۷] بررسی تاثیر دما بر روی قدرت تفکیک انرژی نشانگر این است که قدرت تفکیک انرژی سوسوزن  $\text{NaI(Tl)}$  از  $1/4$ ٪ در دمای  $210^\circ\text{C}$  به  $9/8$ ٪ در دمای  $0^\circ\text{C}$  کاهش می یابد [۸]. مطالعاتی نیز روی رفتار کریستال BGO در جهت های گوناگون در دمای  $0^\circ\text{C}$  تا  $35^\circ\text{C}$  انجام شده است و نتایج حاکی از کم شدن قدرت تفکیک و کاهش شدت نور خروجی با افزایش دما است [۹].

## ۲- شرح آزمایش

در اندازه گیری های موجود از دو نوع سوسوزن BGO و  $\text{NaI(Tl)}$  متصل به یک لامپ تکثیر کننده فوتونی RCA 6810A و چشمه های  $^{137}\text{Cs}$  با انرژی گامای  $62 \text{ KeV}$  و  $^{60}\text{Co}$  با انرژی های  $1173 \text{ KeV}$  و  $1332 \text{ KeV}$  استفاده شده است. بلوک دیاگرام الکترونیک مورد استفاده در اندازه گیری در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱- بلوک دیاگرام اندازه گیری تاثیر تغییرات دما در پاسخ سوسوزن

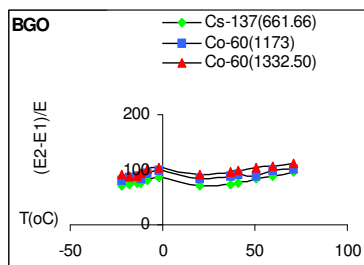
خروجی لامپ تکثیر کننده فوتونی که به سوسوزن های  $\text{NaI(Tl)}$  و BGO اتصال اپتیکی دارند به یک پیش تقویت کننده اولیه مدل ۲۷۶ ORTEC و سپس به یک تقویت کننده اصلی مدل ۵۷۵ ORTEC متصل شده است به منظور تامین ولتاژ مورد نظر از یک منبع تغذیه مدل ۴۵۶ ORTEC استفاده شده است. پالس الکترونیک تقویت شده در تقویت کننده، در یک آنالیزور چند کاناله (MCA) و با استفاده از نرم افزار داده برداری Maestro III تجزیه و تحلیل می شود. جهت بررسی تغییرات دما در محدوده دمایی  $30^\circ\text{C}$  - تا

$70^{\circ}\text{C}$  + سوسوزن، لامپ تکثیر کننده فوتونی و پیش تقویت کننده داخل کوره (جهت افزایش دما) و درون فریزر (جهت کاهش دما) قرار داده شده است. برای حصول اطمینان از توزیع یکنواخت دما در داخل اتاقک اندازه گیری از یک فن در داخل کوره استفاده شده است در تمام مراحل آزمایش فاصله چشمه با آشکارساز ثابت نگهداشته شده تا از تغییرات الکترونیکی ارتفاع پالس در نتیجه پدیده هایی نظیر تغییرات آهنگ شمارش و در نتیجه آن Pile up جلوگیری شود. هر سوسوزن قبل از شروع داده برداری به مدت ۳۰ تا ۴۰ دقیقه در دمای مورد نظر قرارداداده شد، تا از رسیدن سوسوزن به دمای تعادل اطمینان حاصل شود. زمان رسیدن به تعادل دمایی بستگی به حجم فعال سوسوزن دارد. به مدت ۳۰ دقیقه زمان هر آزمایش است، و به بررسی تاثیر تغییرات دمایی  $30^{\circ}\text{C}$  - تا  $70^{\circ}\text{C}$  + بر روی قدرت تفکیک انرژی، بازده آشکار ساز و نور خروجی پرداخته شده است. لازم به ذکر است که با هر بار تغییر دما، کالیبراسیون انرژی جدید انجام شده است زیرا با هر بار تغییر دما نور خروجی تغییر کرده در نتیجه ارتفاع پالس تغییر نموده و این تغییرات منجر به تغییر کالیبراسیون می گردد.

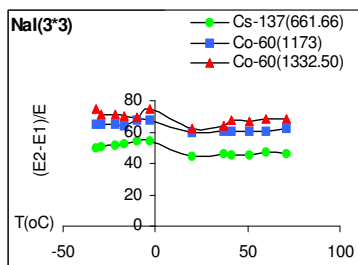
### ۳- نتایج اندازه گیری

#### الف: تاثیر دما بر قدرت تفکیک انرژی

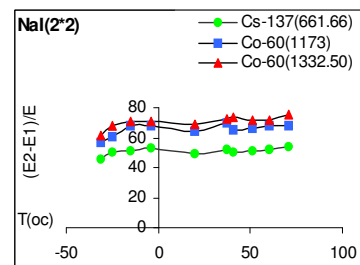
تغییرات قدرت تفکیک انرژی در سوسوزن های  $\text{NaI(Tl)}$  و  $\text{BGO}$  به ابعاد  $2'' \times 2''$  و  $3'' \times 3''$  نسبت به دما برای انرژیها مختلف در شکل های ۲-۴ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود با افزایش دما از ۰ تا  $70^{\circ}\text{C}$  + درجه سانتی گراد قدرت تفکیک انرژی سوسوزن های  $\text{NaI(Tl)}$  و  $\text{BGO}$  زیادتر می شود. کاهش دما حدود  $20^{\circ}\text{C}$  - درجه سانتی گراد کاهش قدرت تفکیک انرژی را برای سوسوزن های  $\text{BGO}$  و  $\text{NaI(Tl)}$  را نشان می دهد.



شکل ۴: تغییرات قدرت تفکیک انرژی با دما برای سوسوزن  $\text{BGO}$  با ابعاد  $3'' \times 3'' \times 3''$  در انرژی های مختلف



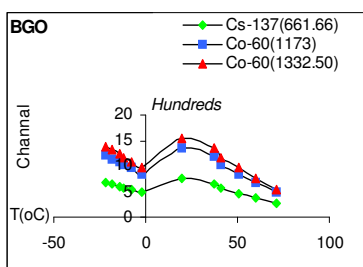
شکل ۳: تغییرات قدرت تفکیک انرژی با دما برای سوسوزن  $\text{NaI(Tl)}$  با ابعاد  $3'' \times 3'' \times 3''$  در انرژی های مختلف



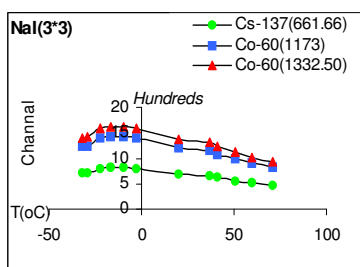
شکل ۲: تغییرات قدرت تفکیک انرژی با دما برای سوسوزن  $\text{NaI(Tl)}$  با ابعاد  $2'' \times 2'' \times 2''$  در انرژی های مختلف

### ب: تاثیر دما بر شدت نور خروجی سوسوزن (Light Output)

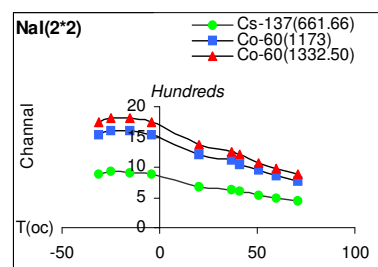
در شکل های ۵-۷ شدت نور خروجی را نسبت به تغییرات دما برای سوسوزن های NaI(Tl) و BGO با ابعاد مختلف نشان داده شده است. با افزایش دما شدت نور خروجی کاهش می یابد، و با کاهش دما تا حدود ۳۰- افزایش شدت نور خروجی قابل مشاهده است



شکل ۷: تغییرات شدت نور خروجی با دما برای سوسوزن BGO با ابعاد ۳" x ۳" x ۳" در انرژی های مختلف



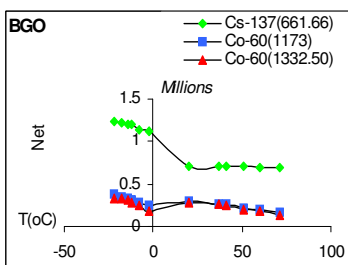
شکل ۶: تغییرات شدت نور خروجی با دما برای سوسوزن NaI(Tl) با ابعاد ۳" x ۳" x ۳" در انرژی های مختلف



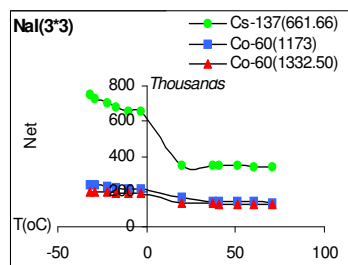
شکل ۵: تغییرات شدت نور خروجی با دما برای سوسوزن NaI(Tl) با ابعاد ۲" x ۲" x ۳" در انرژی های مختلف

### ج: تاثیر دما بر بازده سوسوزن (Effeciency)

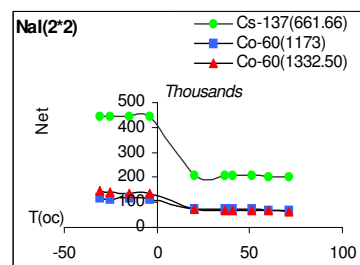
افزایش دما در سوسوزنهای BGO, NaI(Tl) کاهش بازده را به همراه دارد همچنین با کاهش دما در NaI(Tl) و BGO افزایش بازده ملاحظه می شود. شکل های ۸-۱۰ نشان دهنده تغییرات بهره سوسوزنی با دما هستند.



شکل ۱۰: تغییرات بازده سوسوزنی با دما برای سوسوزن BGO با ابعاد ۳" x ۳" x ۳" در انرژی های مختلف



شکل ۹: تغییرات بازده سوسوزنی با دما برای سوسوزن NaI(Tl) با ابعاد ۳" x ۳" x ۳" در انرژی های مختلف



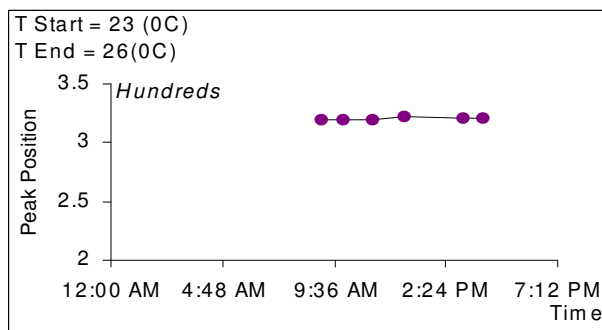
شکل ۸: تغییرات بازده سوسوزنی با دما برای سوسوزن NaI(Tl) با ابعاد ۲" x ۲" x ۳" در انرژی های مختلف

با توجه به یکپارچه بودن لامپ تکثیر کننده فوتونی و سوسوزن و بررسی تاثیرات دما بر روی سوسوزن به تنهایی امکان پذیر نیست، با توجه به اینکه هدف از اندازه گیریهای حاضر بررسی تاثیرات دمایی بر روی سوسوزن است، لذا ابتدا به بررسی تاثیرات دما بر روی کل سیستم ( سوسوزن و لامپ تکثیر کننده فوتونی) پرداخته و سپس تاثیرات دمایی بر روی لامپ تکثیر کننده فوتونی بررسی میگردد. تا این مرحله از آزمایش تاثیر دما بر روی پاسخ سوسوزن های NaI(Tl) و BGO مورد بررسی قرار گرفته شده است، که این تاثیرات می تواند به مقدار قابل توجهی ناشی از تاثیر دما بر سیستم الکترونیکی باشد در نتیجه در این قسمت

سعی شده است سهم تغییرات دما بر سیستم الکترونیکی به تنهایی تخمین زده شود. از مقایسه نتایج دو آزمایش مذکور میتوان به بررسی تاثیرات دما بر روی سوسوزن پرداخت.

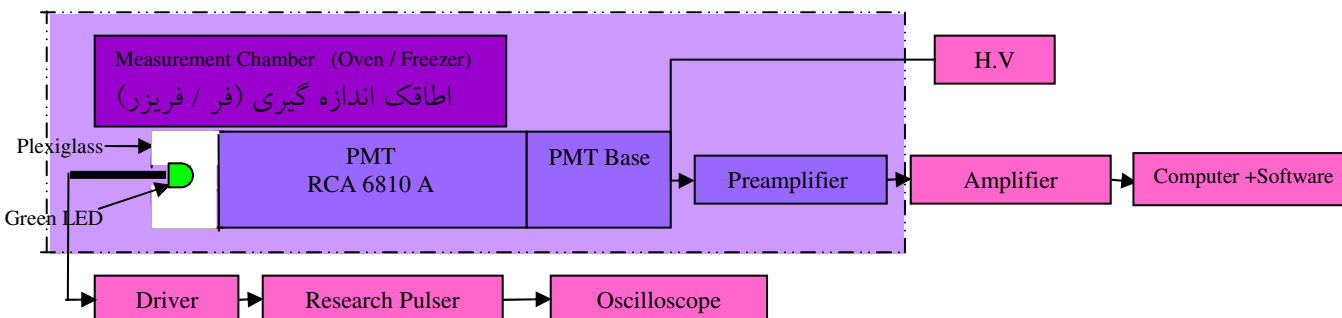
### د: تاثیر دما بر بهره الکترونیکی

در این مرحله به بررسی تاثیر دما بر رروی الکترونیک سیستم مورد آزمایش پرداخته شده است. ابتدا یک دماسنج دیجیتال را داخل تقویت کننده اصلی قرار داده و دمای اولیه را ثبت شده است به کمک یک پالسر پالسی را به تقویت کننده اولیه فرستاده و سپس توسط تقویت کننده اصلی تقویت نموده و جهت تجزیه و تحلیل به تحلیل گر چند کاناله فرستاده شده است در طول مدت زمان ۷ ساعت در زمانهای مختلف طیف نگاری انجام شده و ثبت می گردد در پایان دمای انتهایی یادداشت می گردد. در طول مدت آزمایش تغییر دمایی حدود  $2^{\circ}\text{C}$  بوده است و وضعیت قله در حدود  $0.02^{\circ}\text{C}^{-1}$  افزایش را دارا است منحنی شماره ۱۱ نمایانگر تغییرات ADC و تقویت کننده اصلی در طول مدت آزمایش است.



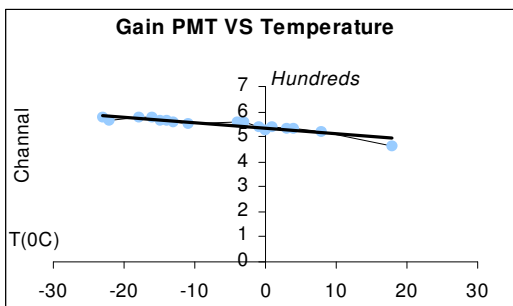
شکل ۱۱: منحنی مربوط به تغییرات ADC و تقویت کننده اصلی در مدت زمان آزمایش

در مرحله بعدی از یک لامپ تکثیر کننده فوتونی RCA۶۸۱۰A و Green LED استفاده شده تا میزان تغییرات لامپ تکثیر کننده فوتونی با دما مورد بررسی قرار داده شود. توسط یک پالسر پالسی در دو سر دیود ایجاد شده که دیود نوری با استفاده از یک پلکسی گلاس برای انتقال یکنواخت نور حاصل از دیود نوری سبز به لامپ تکثیر کننده فوتونی برخورد می کند از کاتد فوتوالکترون تولید شده و توسط داینودها این فوتو الکترونها تقویت شده و سپس در آند جمع آوری می شود طیف تولیدی به یک تقویت کننده اولیه فرستاده می شود و سپس به یک تقویت کننده اصلی و از آنجا جهت تجزیه و تحلیل به یک تحلیلگر چند کاناله فرستاده می شود. یک منبع تغذیه جهت ایجاد ولتاژ مورد نظر در بین داینودهای لامپ تکثیر کننده فوتونی در این مرحله استفاده شده است. بلوک دیاگرام الکترونیک مورد استفاده در اندازه گیری در شکل ۲۱ آمده است. در این مرحله با توجه به مطالعاتی که انجام شده است در زمینه تاثیر ناشی از تغییر درجه حرارت بر روی Green LED و لامپ تکثیر کننده فوتونی تغییرات ایجاد شده را حدود  $0.35^{\circ}\text{C}^{-1}$  کاهش را برای افزایش دما برآورد شده است [۲۳-۲۴].

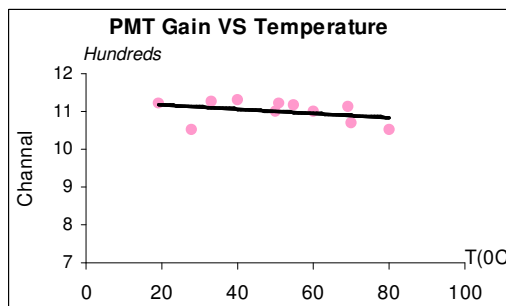


شکل ۱۱- بلوک دیاگرام الکترونیک اندازه گیری تاثیر تغییرات دما بر پاسخ لامپ تکثیر کننده فوتونی، پایه لامپ تکثیر کننده فوتونی و پیش تقویت کننده

در ابتدا سیستم LED و لامپ تکثیر کننده فوتونی را داخل فر قرار داده دما را از  $20^{\circ}\text{C}$  تا  $70^{\circ}\text{C}$  تغییر داده می شود. شکل ۱۲ بیانگر تغییرات مربوط به لامپ تکثیر کننده فوتونی با افزایش دما است. که  $0.30\% / ^{\circ}\text{C}^{-1}$  کاهش را با افزایش دما نشان می دهد شکل ۱۳ نیز نشانگر تغییرات بهره لامپ تکثیر کننده فوتونی با کاهش دما است. که این تغییرات  $0.47\% / ^{\circ}\text{C}^{-1}$  افزایش بهره در اثر کاهش دما نشان می دهد



شکل ۱۳: تغییرات بهره لامپ تکثیر کننده فوتونی و کاهش دما



شکل ۱۲: تغییرات بهره لامپ تکثیر کننده فوتونی و افزایش دما

#### ۴- نتیجه گیری

شدت نور خروجی (Photon / MeV) اکثر سوسوزن ها به دما بستگی دارد، زیرا در مقایسه با کریستالهایی که فاقد گذار تابشی اند، کریستالهای سوسوزن گذار تابشی، عامل تولید نور سوسوزن است. در اغلب کریستالهای سوسوزن، نور خروجی با افزایش دما کاهش می یابد. روند سوسوزنی معمولاً به عنوان یک مرکز مناسب جهت تولید، انتقال و خاموشی (Quenching) است. مقایسه بین این سه فرایند (تولید، انتقال و خاموشی) که هر کدام دارای رفتار متفاوتی با دما هستند، باعث وابستگی دمایی مشترک با نور خروجی می شود در ابتدا به بررسی علت تغییر بهره لامپ تکثیر کننده فوتونی با تغییرات دما و تاثیر آن بر توابع پاسخ سوسوزن پرداخته می شود.

ضریب تقویت یک داینود در لامپ تکثیر کننده فوتونی از رابطه زیر بدست می آید :

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

$N$  : تعداد الکترون های ثانویه تابش شده

$N_0$  : الکترون برخوردی اولیه

همچنین برای بهره کل خواهیم داشت :

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

$\alpha$ : کسری از تمام فوتون های جمع آوری شده به وسیله تکثیر کننده که معمولاً برای یک لامپ ایده آل برابر یک است

$M$  : تعداد مراحل تقویت (تعداد داینود ها)

با افزایش دما مقاومت الکتریکی فوتوکاتدهای بزرگ قادر به تضعیف میدان الکترو استاتیکی بین فوتوکاتد و اولین داینود شده و در نتیجه بازده جمع آوری فوتوالکترون ها کاهش می یابد. همانگونه که از رابطه ۱ و ۲ قابل نتیجه گیری است کاهش تعداد الکترون های ثانویه ( $N$ ) باعث کاهش ضریب بهره ( $\delta$ ) و در نتیجه کاهش کل بهره خواهد شد. در نهایت می توان به این نکته اشاره کرد که درسوسوزن های مورد استفاده افزایش دما موجب کاهش بهره لامپ تکثیر کننده فوتونی شده و با کاهش بهره لامپ تکثیر کننده فوتونی موجب کاهش  $\delta$  گردیده در  $\delta$  کوچک قدرت جداسازی پدیده های ناشی از تکثیر فوتوالکترون های موجود شده در نتیجه قدرت تفکیک انرژی نیز کاهش می یابد. تغییر در موقعیت یک قله ناشی از تغییر در ارتفاع پالس است، تفاوتی که در میزان شیب منحنی ها و یا تغییرات در آشکار ساز های NaI(Tl) و BGO قابل مشاهده است ناشی از موارد ذیل است:

NaI(Tl) دارای دو مرکز تابشی ید و تالیوم است که با کاهش دما بسته های انرژی دارای تاثیر کمتری بر روی مراکز تالیوم شده و تنها میزان موجود مراکز ید می باشد. در آشکار ساز BGO تغییرات حاصله ناشی از تغییر در بهره تقویت سیستم است. تغییرات سریع BGO نسبت به NaI(Tl) به خاطر سطح مقطع برخورد بیشتر فوتون با بیسموت نسبت به ید به ویژه در انرژی های پایین تر هنگامیکه اثر فوتوالکتریک غالب می باشد است. همچنین کاهش و افزایش دما باعث افزایش و کاهش زمان واپاشی کریستال گردیده که منجر به تغییر در بازده سوسوزنی می شود.

## تشکر و قدر دانی:

مولفان این مقاله از تمامی همکاران بخش پسمانداری سازمان انرژی اتمی تهران و آقایان فرهاد ذنوبی و حسن زندی بخاطر کمکهای فنی بی دریغ کمال تشکر را دارند.



## ۶- منابع

1. Hahn Rossel, Helv. Phys. Acta 26, 271(1953).
2. Der Mateosian E. et al. Phys. Rev. 95, 598 A(1954).
3. Der Mateosian E. et al. Phys. Rev. 101, 967(1956).
4. Sabharawal S. C. et al. Nucl. Instr. Methods 195, 613(1982).
5. Melcher C. L. & Schweitzer J. S. IEEE Trans. Nucl. NS\_32, 529(1985).
6. Melcher C. L. & Schweitzer J. S. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS\_35, 876 (1988).
7. Petrilo G. A. et al Nuclear Science Symposium San Francisco, Calif. , USA. (1983).
8. Zucchiatti, C. Bernini, G. Gervino & A. Rottura, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A282(1989).
9. Glenn F. Knoll , Radiation Detection & Measurement. (1989).
10. Darrell M. Drake, Leif R. Nilsson, John Faucett. Nucl, Instr, and methods 188 , 313-317(1981).
11. O.H. Nestor and C. Y. Huang , IEEE Trans. Nucl. Sci. Ms- 22 ,68. (1975).
12. Z. H. cho and M. R. Farukhi, J. Nucl. Med. 18 ,840. (1977).
13. E. A. Bakkum, C.P.M. van Enelen and R. Kamermans T. A. Teelinig and L. J.M. timmerman – Nucl. Instr. And Methodes 225, 330 -334. (1984).
14. Albert E. Evants, Jr. , IEEE Trans. Nucl. Sci NS- 27 ,172. (1980).
15. Rozsa, C. Grosinsky, D. Penn P. Raby, R. Schreiner. Bicon, adivision of saint – Gobain Industrial Ceramics, Inc. 12345 kinsman Road, Newbury, Ohio 44065 IEEE. Nucler science symposium (1999).
16. A.C. Lucas, B.M. shoffner, Harshaw ehemiccd company, IEEE NSS, NS – 23 V1 , Pagaes & 699 – 703,( 1976).
17. M.S. Zucker, R. L. Chase, stephani, E. Fiarman J. Albert. BNL. Report Bicon literature. These are available on their Internet website at [www.bicon.com](http://www.bicon.com).
18. Rozsa , R. Dayton, P. Raby, M. Kusner, R. Schreiner. IEEE NSS, (1989).
19. S. Baccaro, K. Blazek, f. dc Notafiste fani, P. Maly , J. A. Mares R. Pain, R. pellegrini, A. Soluri, Nucl, Inst. and Physics Methods. A 361, 209-215(1995).
20. G.F. Knoll, Radiation Detection and measurement, S<sup>ed</sup> Edittion, John Wily & Sons New York, (2002).
21. F. M. Mosznski, C. Gresset, J. vacher and ODRU. Nucl. Instr. And Methods 188, 403-409(1981).
22. W.l.Relter and G.Stengl.Nucl. Instr. And Methods 169,469-476(1980).
23. R.erling Rohde. Nucl. Instr. And Methods 34 , 109-11(1965).