



## طراحی و ساخت آشکارساز گازی حساس به موقعیت یک بعدی

هاله، کرمی<sup>۱</sup>؛ زهره، کارگر<sup>۱\*</sup>؛ جواد، رحیقی<sup>۲</sup>؛ مرتضی، جعفرزاده<sup>۳</sup>

۱. دانشگاه شیراز، دانشکده علوم، گروه فیزیک

۲. پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، طرح چشمه‌ی نور ایران

۳. دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده علوم، گروه فیزیک

### چکیده

در این مقاله به طراحی و ساخت آشکارساز حساس به موقعیت تناسبی گازی چند سیمی برای فوتون‌های کم انرژی ایکس پرداخته شده است. تست نمونه‌ی اولیه‌ی ساخته شده‌ی این آشکارساز با استفاده از چشمه‌ی ایکس انجام گردیده است. این آشکارساز دارای قدرت تفکیک  $230 \mu m$  است.

**کلید واژه:** آشکارساز حساس به موقعیت تناسبی گازی چند سیمی، اشعه‌ی ایکس کم انرژی

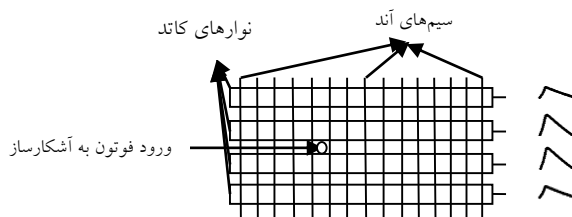
### مقدمه

آشکارساز تناسبی گازی چندسیمی<sup>۱</sup> حساس به موقعیت اولین بار توسط Charpak در سال ۱۹۶۸، پیشنهاد شد. با پیشرفت این نوع آشکارساز و استفاده از آن در شتاب‌دهنده‌ها پیشرفت بسیاری در علم فیزیک ایجاد شد تا آنجا که در سال ۱۹۹۲ جایزه‌ی نوبل فیزیک برای این ابداع به وی اهدا گردید. این آشکارسازها می‌توانند با اسکن همزمان تمامی نقاط یک صفحه با صرف زمان کم، دقت و قدرت تفکیک مکانی بالاتری را نسبت به دیگر آشکارسازها داشته باشند. لذا از آنها می‌توان برای تصویربرداری در پزشکی (برای گرفتن عکس با کیفیت بالا) و یا در موارد دیگر (اختر فیزیک) استفاده کرد.

این آشکارساز از یک محفظه‌ی گازی دارای پنجره‌ی ورودی، سیم‌های آند متصل به منبع ولتاژ زیاد و یک صفحه‌ی کاتد تشکیل می‌شود (شکل ۱). در محفظه‌ی گازی الکترون تولید شده از برهم‌کنش فوتوالکتریک بین فوتون کم انرژی و مولکول گاز پدیده‌ی بهمنی ایجاد می‌کند، تجمع بارهای الکتریکی تولید شده روی سیم‌های آند باعث القای بار الکتریکی روی نوارهای صفحه‌ی کاتد می‌گردد. با استفاده از سیگنال به دست آمده از

<sup>۱</sup> Multi Wire Proportional Chamber

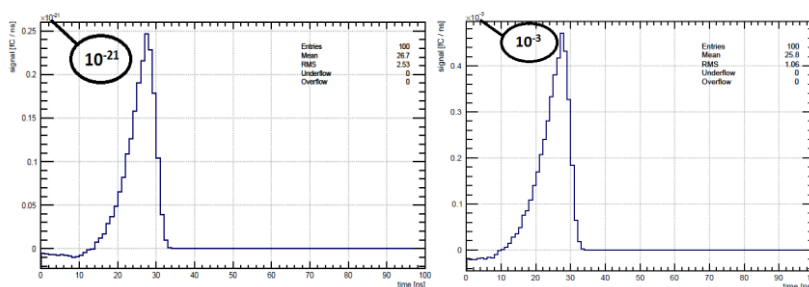
نوارهای کاتد می‌توان مکان تابش ورودی به محفظه را تعیین کرد [۱]. در محفظه‌های تناسبی چندسیمی که سیگنال در آن‌ها از آند گرفته می‌شود توان تفکیک مکانی کم می‌باشد. برای افزایش قدرت تفکیک آشکارساز صفحه‌ی کاتد را به نوارهایی تقسیم بندی کرده و از سیگنال القایی روی این نوارها موقعیت فوتون ورودی در آشکارساز تعیین می‌شود.



شکل ۱: شمایی از ساختار محفظه‌ی تناسبی چندسیمی [۲].

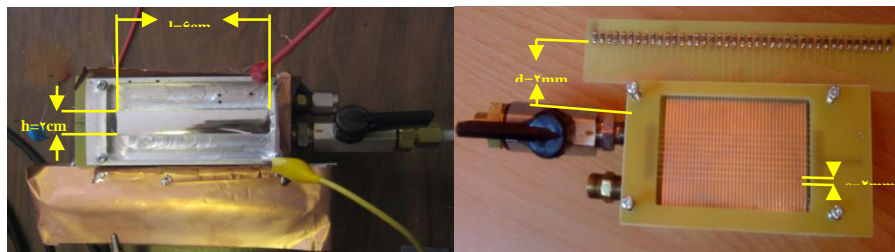
## روش کار

با استفاده از شبیه ساز آشکارسازهای گازی،  $Garfield^{++}$ ، ابعاد آشکارساز، ضخامت ناحیه‌ی فعال و تعداد بخش‌هایی که صفحه‌ی کاتد به آن تقسیم می‌شوند به نحوی مشخص می‌شود که سیگنال به دست آمده از نوار کاتدی که در نزدیکی محل ورود فوتون به محفظه‌ی آشکارساز است با سیگنال‌های به دست آمده از نوارهای اطراف بیشترین اختلاف دامنه‌ی ممکن را داشته باشد (شکل ۲). این نرم افزار از ترکیب چندین برنامه برای محاسبه‌ی میدان الکتریکی، تعیین مشخصات انتقال الکترون و تعیین مسیر یونیزاسیون تشکیل شده است. به عنوان مثال از برنامه‌ی Magboltz برای تعیین مشخصات گاز، از برنامه‌ی Elmer برای محاسبه‌ی میدان الکتریکی و از برنامه‌ی Heed برای تعیین مسیر یونیزاسیون ذره در محفظه استفاده می‌کند. به این ترتیب  $h$  پهنای آشکارساز  $20\text{ mm}$ ،  $l$  طول آشکارساز برابر با  $60\text{ mm}$ ،  $d$  ضخامت ناحیه‌ی فعال آشکارساز (فاصله‌ی بین صفحه‌ی کاتد تا صفحه‌ی آند)  $2\text{ mm}$ ،  $s$  فاصله‌ی بین سیم‌های آند برابر با  $2\text{ mm}$  و تعداد نوارهای صفحه‌ی کاتد  $40$  نوار با پهنای  $1/2\text{ mm}$  که در فاصله‌ی  $0/3\text{ mm}$  از هم قرار می‌گیرند، به دست آمد (شکل ۳).



شکل ۲: سیگنال به دست آمده از نزدیک‌ترین نوار (راست) و از دورترین نوار (چپ) به محل ورود فوتون.

جنس محفظه‌ی آشکارساز آلومینیومی می‌باشد و از سیم‌های برنزی با روکش ملیبدن به قطر ۱۳ میکرون به عنوان سیم‌های آند استفاده شده است (شکل ۳). از آن‌جا که آشکارساز برای فوتون‌های ایکس کم انرژی طراحی شده است جنس و ضخامت پنجره‌ی آشکارساز به نحوی انتخاب شده‌اند که بیشترین درصد عبوری فوتون ایکس را با کمترین مقدار جذب نويز از محیط اطراف آشکارساز داشته باشد. از این رو از آلومینایز مایلار ۷ میکرومتری به عنوان پنجره‌ی آشکارساز استفاده شده است. آلومینایز مایلار از یک لایه‌ی مایلار برای عبور حداکثری فوتون ایکس و پوششی آلومینیومی برای جلوگیری از ورود نويز به محفظه‌ی آشکارساز تشکیل شده است.



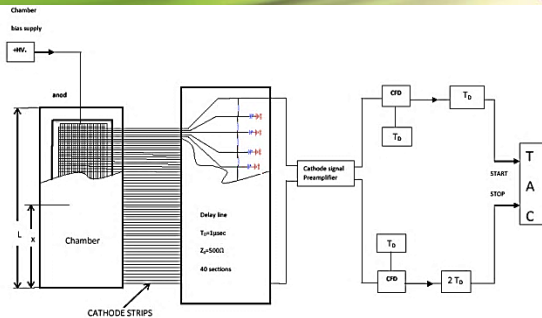
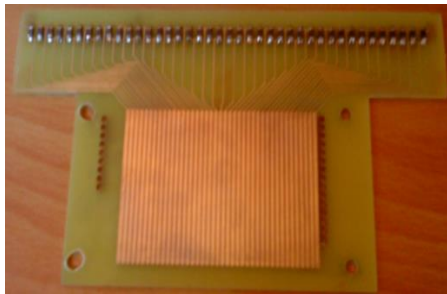
شکل ۳: محفظه‌ی تناسبی چندسیمی ساخته شده در ابعاد به دست آمده از برنامه‌ی Garfield++.

بازخوانی سیگنال در آشکارساز تناسبی حساس به موقعیت می‌تواند به سه طریق روش تقسیم بار، روش یافتن مرکز بار و روش خط تأخیر انجام شود که در این مقاله از روش خط تأخیر استفاده شده است [۳]. اعمال تأخیر به سیگنال‌های سریع به دست آمده از دو سر صفحه‌ی کاتد، با استفاده از خازن و خودالقای مناسبی که به نوارهای صفحه‌ی کاتد متصل می‌باشد انجام می‌شود (شکل ۴-چپ). با ورود سیگنال از دو انتهای صفحه‌ی کاتد به دستگاه کسر ثابت زمانی<sup>۲</sup> لحظه‌ی دقیق ایجاد پالس سریع در آشکارساز مشخص می‌شود و با ورود سیگنال‌ها به شروع و پایان مبدل زمان به ولتاژ<sup>۳</sup>، فاصله‌ی زمانی بین دریافت دو پالس اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۴-راست). طیف به دست آمده از آنالیزور بس کاناله<sup>۴</sup> نیز در صفحه‌ی نمایش نشان داده می‌شود.

<sup>۱</sup> Constant Fraction Discriminator (CFD)

<sup>۲</sup> Time to Amplitude Converter (TAC)

<sup>۴</sup> Multi-Channel Analyzer (MCA)



شکل ۴: چپ-صفحه‌ی کاند تقسیم شده به ۴۰ بخش متصل به خط تأخیر، راست- مدار الکترونیکی برای گرفتن سیگنال [۱].

هنگامی که فوتون با مولکول گاز برخورد می‌کند الکترون‌هایی با انرژی معینی را تولید می‌کند، آشکارساز برای فوتون‌های ایکس با انرژی در حدود انرژی یونیزاسیون لایه‌های اتمی گاز بیشترین بازدهی را دارد. لذا با مقایسه‌ی انرژی یونیزاسیون گازهای مختلف [۱] از گاز آرگون به عنوان گاز اصلی جهت آشکارسازی اشعه‌ی ایکس کم انرژی استفاده شده است. علاوه بر گاز اصلی از یک گاز کمکی به عنوان خاموش کننده استفاده می‌گردد تا اثرات فوتون القایی<sup>۵</sup> ایجاد شده در محفظه‌ی تناسبی که منجر به از بین رفتن حالت تناسبی آشکارساز، ایجاد پالس جعلی، گسترش پدیده‌ی بهمنی در طول سیم، افزایش زمان مرده‌ی آشکارساز و نهایتاً کاهش دقت آشکارساز حساس به موقعیت می‌گردد، از بین رود. در این آشکارساز از گاز کربن دی اکسید به عنوان گاز خاموش کننده، استفاده شده است. پدیده‌ی تکثیر در محفظه تناسبی بیشتر در اثر حرکت الکترون‌های آزاد ایجاد می‌شود تا حرکت یون‌های مثبت به همین دلیل انتخاب گاز به صورتی باید انتخاب شود که بزرگی احتمال جابه‌جایی الکترون در آن تحت تأثیر میدان الکتریکی به اندازه‌ی کافی باشد. درصد ترکیب این دو گاز باید به نحوی انتخاب شود که ضریب چسبندگی در ترکیب آن‌ها به اندازه‌ی کافی کوچک باشد، لذا از ترکیب ۹۰٪ آرگون و ۱۰٪ کربن دی اکسید استفاده شد.

از آن‌جا که طراحی این آشکارساز برای فوتون‌های کم انرژی انجام شده است برای تست آن می‌توان از چشمه‌ی ایکس کم انرژی مانند  $^{65}\text{Zn}$  یا  $^{55}\text{Fe}$  استفاده کرد، البته در بهترین حالت استفاده از تابش ایکس کاملاً تک انرژی به دست آمده از سینکروترون بهترین گزینه می‌باشد. در این تست از چشمه‌ی امرشیوم  $^{10}\text{mCi}$  استفاده شده است که در مقابل آن لایه‌های مختلف فلزی مانند مس، ملیبدن، نقره، باریوم و ... قرار گرفته شده است تا فوتون‌های ایکس مشخصه تولید شوند.

<sup>۵</sup> Photon induced effects

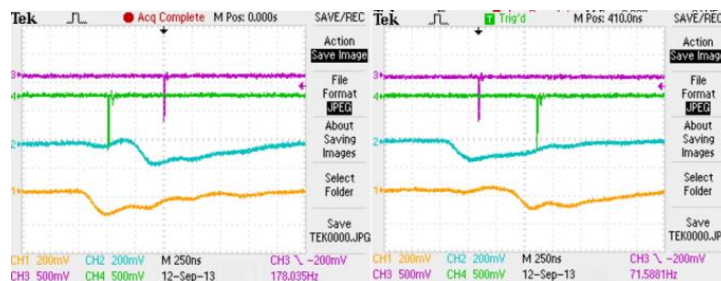




## نتایج

پس از ساخت آشکارساز و اتصال قسمت‌های الکترونیکی، تست آشکارساز با استفاده از چشمه‌ی ایکس کم انرژی انجام گردید.

با حرکت چشمه‌ی ایکس بر روی پنجره‌ی ورودی آشکارساز می‌توان تغییر اختلاف زمان بین پالس‌های تولید شده‌ی آشکارساز را روی اسیلوسکوپ مشاهده کرد، که نشان دهنده‌ی حساس بودن آشکارساز به موقعیت چشمه است (شکل ۵).



شکل ۵: رنگ آبی و سبز به ترتیب سیگنال شروع و پایان CFD است. سیگنال‌های مکان اولیه‌ی چشمه در سمت راست و سیگنال‌ها بعد از حرکت چشمه در سمت چپ نشان داده شده‌اند.

برای به دست آوردن قدرت تفکیک نسبی آشکارساز، از یک کالیمتور با روزنه‌ای به قطر  $1/5\text{mm}$  در مقابل چشمه استفاده شد. با جمع آوری طیف به دست آمده از تغییر مکان چشمه در فواصل یکسان  $7\text{mm}$ ، (شکل ۶-چپ) پهنای نیم ارتفاع قله را تعیین کرده و با کم کردن آن از قطر کالیمتور قدرت تفکیک نسبی آشکارساز محاسبه می‌شود (شکل ۶-راست). به ازای  $7$  میلی متر جابه جایی چشمه، قله‌ی طیف  $124$  کانال جابه جا شد یعنی هرکانال می‌تواند  $0.32\text{mm}$  جابه جایی چشمه را نشان دهد. پهنای نیم ارتفاع قله (FWHM)  $56$  کانال می‌باشد، لذا قدرت تفکیک پذیری با استفاده از جابه جایی دو قله‌ی اول از روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شود:

$$\frac{7}{124} = 0.32\text{mm} \rightarrow \text{FWHM} = 56 \times 0.32 = 1.79\text{mm} \quad (1)$$

پهنای نیم ارتفاع قله =  $1.79 - 1.5 = 0.24\text{mm} = 240\mu\text{m}$  = قدرت تفکیک پذیری نسبی

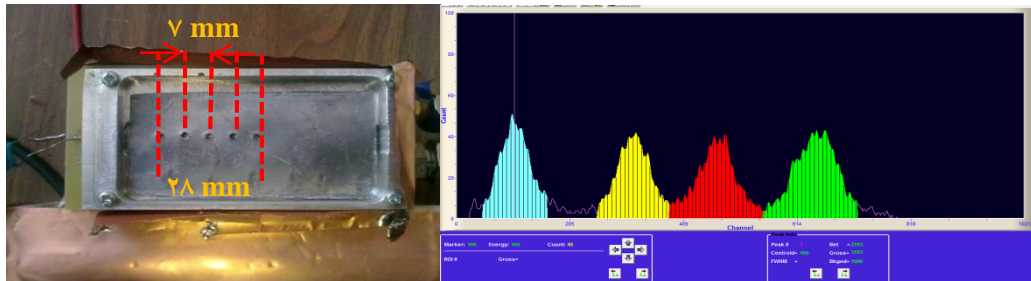
(۲) و قدرت تفکیک پذیری با استفاده از جابه جایی دو قله‌ی آخر، از روابط ۳ و ۴ به دست می‌آید:

$$\frac{7}{125} = 0.31\text{mm} \rightarrow \text{FWHM} = 56 \times 0.31 = 1.73\text{m} \quad (3)$$



FWHM=قدرت تفکیک پذیری نسبی قطر کالیمتور=۱,۷۳-۱,۵=۰,۲۳mm=۲۳۰ $\mu$ m

(۴)



شکل ۶: سمت چپ نشان دهنده پوشش سربی است که ۴ سوراخ روی آن در فاصله‌های ۷mm از هم قرار دارند، طیف به دست آمده از حرکت چشمه‌ی ایکس کم انرژی روی آن در سمت راست نشان داده شده است.

### بحث و نتیجه گیری

قدرت تفکیک پذیری مکانی مطلق این آشکارساز ۳۰ میکرون برابر با جابه‌جایی هر کانال است، این مقدار مستقیماً با استفاده از کالیمتوری با قطر ۳۰ میکرون قابل اثبات است. اما در عمل با استفاده از کالیمتور با قطر کم در حدود ۰/۵mm نیز می‌توان به عددی نزدیک به مقدار واقعی تفکیک پذیری مطلق این آشکارساز دست یافت.

### مراجع

- [۱] R.A.Boie, J.Fischer, Y.Inagaki, "High Resolution X-Ray Gas Proportional Detectors With Delay Line Position Sensing For High Counting Rates", Nuclear Instruments and Methods, ۲۰۱, ۹۳-۱۱۵, ۱۹۸۲.
- [۲] C.Grupen and B.A.Shwartz, "Particle Detector", Cambridge University Press, New York, ۱۹۰, ۲۰۰۸.
- [۳] Syed Naeem Ahmad, "Physics and Engineering of Radiation detection", Elsevier, London, ۲۰۰۷.